

**MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU**

**ÄÄNIHÄIRINNÄN VAIKUTUKSET NUORTEN SOTILAIEN KOGNITIIVISEEN  
TOIMINTAKYKYYN JA SUBJEKTIIVISIIN KOKEMUKSIIN**

Pro Gradu -tutkielma

Yliluutnantti  
Joona Gylden

Sotatieteiden maisterikurssi 9  
Ilmasotalinja

Huhtikuu 2020

**MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU**

Kurssi <b>Sotatieteiden maisterikurssi 9</b>	Linja <b>Ilmasotalinja</b>
Tekijä <b>Ylil Joona Gyldén</b>	
Tutkielman nimi <b>ÄÄNIHÄIRINNÄN VAIKUTUKSET NUORTEN SOTILAIEN KOGNITIIVISEEN TOIMINTAKYKYYN JA SUBJEKTIIVISIIN KOKEMUKSIIN</b>	
Oppiaine johon työ liittyy Sotatekniikka	Säilytyspaikka MPKK:n kurssikirjasto
Aika Huhtikuu 2020	Tekstisivuja 51 Liitesivuja 3
<b>TIIVISTELMÄ</b> <p>Tutkimus laadittiin määrällistä tutkimusmenetelmää käyttäen. Tutkimus toteutettiin järjestämällä empiirinen kognitiivista toimintakykyä mittaava koeasetelma. Tutkimukseen osallistui koehenkilöinä 23 nuorta miespuolista sotilasta. Koehenkilöt suorittivat tablettitietokoneilla kognitiivista kapasiteettia mittaavia kokeita ja vastasivat subjektiivista kognitiivista kuormittavuutta mittaaviin kyselyihin kolmessa eri ääniympäristössä: ilman taustääntä, jatkuvan taustäänen kanssa ja epäjatkuvan taustäänen kanssa. Testattavat äänihäirinnän ominaisuudet olivat 7000Hz taajuinen n.60 - 70 dB SPL jatkuva ja epäjatkuva ääni. Hypoteesina oli, että testitulokset ovat parhaat ilman taustääntä, huonommat jatkuvan taustäänen kanssa ja kaikkein huonoimmat epäjatkuvan taustäänen kanssa.</p> <p>Tutkimuksessa havaittiin tilastollisesti merkittäviä eroja subjektiivisessa kuormittavuudessa ja kokemuksissa verrattaessa äänihäirintätilannetta tilanteisiin ilman häirintä-ääntä. Kognitiivista kapasiteettia mittaavien kokeiden tuloksissa ei havaittu tilastollisesti merkittäviä eroja äänihäirinnän vaikutuksesta. Testitulokset tukivat tutkijan hypoteesia siitä, että kognitiivinen kuormittavuus lisääntyy äänihäirinnän vaikutuksen alaisena. Tutkimuksen johtopäätöksinä todettiin äänihäirinnällä olevan negatiivinen vaikutus nuorten sotilaiden kognitiiviseen toimintakykyyn.</p>	
<b>AVAINSANAT</b> <p>Kognitiivinen toimintakyky, äänihäirintä, SART, kolmen minuutin kielellinen päättelykoe, NASA-TLX, jatkuva ääni, epäjatkuva ääni</p>	

# **ÄÄNIHÄIRINNÄN VAIKUTUKSET NUORTEN SOTILAIEN KOGNITIIVISEEN TOIMINTAKYKYYN JA SUBJEKTIIVISIIN KOKEMUKSIIN**

<b>1.</b>	<b>Johdanto.....</b>	<b>1</b>
1.1.	Tutkimusongelma ja tutkimuskysymykset.....	3
1.2.	Aikaisempi tutkimus .....	3
1.3.	Tutkimuksen rajaukset .....	5
1.4.	Tutkimuksen rakenne .....	5
<b>2.</b>	<b>Tutkimuksen teoreettinen tausta .....</b>	<b>7</b>
2.1.	Ääni fysikaalisena ilmiönä.....	7
2.2.	Paine, teho ja intensiteetti .....	8
2.3.	Taajuus, aallonpituus ja amplitudi .....	10
2.4.	Interferenssi.....	11
2.5.	Ihmisen kuuloaisti .....	12
2.6.	Äänen/melun vaikutukset kognitiiviseen toimintakykyyn.....	14
2.7.	Kognitiivisen kyvyn mittaaminen.....	17
2.8.	Yhteenveto .....	24
<b>3.</b>	<b>Tutkimuksen tavoitteet ja hypoteesit .....</b>	<b>27</b>
<b>4.</b>	<b>Tutkimusmenetelmät .....</b>	<b>28</b>
4.1.	Koehenkilöt .....	28
4.2.	Kognitiiviset testit ja subjektiiviset arvioinnit .....	28
4.3.	Koeasetelma ja käytännön järjestelyt.....	31
4.4.	Aineiston analyysimenetelmä .....	34
4.5.	Yhteenveto .....	36
<b>5.</b>	<b>Tutkimustulokset .....</b>	<b>39</b>
5.1.	Tutkimusaineiston tilastolliset tunnusluvut ja kuvaajat .....	39
5.2.	Äänen vaikutukset kognitiivisten testien tuloksiin .....	40
5.3.	Äänen vaikutukset subjektiiviseen kuormitukseen (NASA-TLX) .....	41
5.4.	Äänen vaikutukset subjektiiviseen kokemukseen (miellyttävyys ja viretila) .....	42
5.5.	Yhteenveto .....	43
<b>6.</b>	<b>Johtopäätökset.....</b>	<b>45</b>
<b>7.</b>	<b>Pohdinta .....</b>	<b>49</b>
	LÄHTEET	
	LIITTEET	

# ÄÄNIHÄIRINNÄN VAIKUTUKSET NUORTEN SOTILAIEN KOGNITIIVISEEN TOIMINTAKYKYYN JA SUBJEKTIIVISIIN KOKEMUKSIIN

## 1. Johdanto

Vuoden 2016 lopulla Yhdysvaltojen Kuuban suurlähetystössä Havannassa työskentelevät ihmiset ilmoittivat kärsivänsä oireista, kuten kuulon heikkenemisestä, pahoinvoinnista ja hui-mauksesta, joiden arveltiin tulleen jonkinlaisen ääniaseen käytöstä suurlähetystöä kohtaan. Yhdysvalloissa harkittiin jopa Havannan suurlähetystön sulkemista selkkauksen johdosta ja uutisointi ääniase-epäilystä levisi nopeasti ympäri maailmaa. Diplomaattiset suhteet Kuuban ja Yhdysvaltojen välillä olivat pitkän kriisivaiheen jälkeen juuri parantumassa. Presidentti Barack Obama kävi maaliskuussa 2016 virkakautensa lopulla avaamassa Yhdysvaltain suurlähetystön Havannassa. Asiasta käynnistettiin tutkinta ja presidentti Donald Trump kutsui kotiin 15 diplomaattia. Lukumäärä on puolet Havannan suurlähetystön henkilökunnasta. Yhdysvaltalaisista ja briteistä muodostunut tutkijaryhmä sai suurlähetystössä äänitetyn ääninäytteen, jonka epäiltiin olevan peräisin jonkinlaisesta ääniaseesta. Tutkinnassa todettiin, että oireisiin liitetty ääni oli todennäköisesti heinäsiirkojen sirtymistä ja asian tutkinta päätettiin. Paikalliset heinäsiirkaurokset sirtivät voimakkaasti 7000Hz taajuudella kutsuessaan naaraita. Jos oireet johtuivat äänistä, oli ne sitten lähtöisin heinäsiirkoista tai ääniaseesta, on äänellä häiritsemistä todella syytä tutkia. [1; 2]

Diplomatian ajautuessa ristiriitoihin ajaututaan usein kriiseihin, joissa eri toimijoiden intressit ovat pahasti ristiriitaisia keskenään. Kriisin eskaloituessa avoimen sotilaalliseksi alkaa usein esiintyä myös sivullisia siviiliuhreja. Siviiliuhrien syntyminen taas vaikuttaa kielteisesti paikallisiin ja kansainvälisiin asenteisiin ja sitä kautta poliittisten tavoitteiden saavuttaminen vaikeutuu. On tärkeää muistaa, että sotatoimilla halutaan aina ajaa joitain korkeampia poliittisia tavoitteita. Siksi sotilaallisten toimien käyttö suhteutetaan aina isompaan poliittiseen kontekstiin. Valtiollisten toimijoiden on nykyään enemmän tai vähemmän pakko välttää siviiliuhreja, jotta sotatoimilla voidaan saavuttaa etua. Tässä on toki havaittavissa eroavaisuuksia länsimaisissa ja itämaisissa doktriineissa. [3]

Ukrainan kriisin alkuvaiheissa oli hyvin nähtävissä se, miten Venäjä osasi taitavasti hyväksikäyttää Ukrainan pelkoa vastata toimiin sotilaallisella voimankäytöllä. Venäjän sotilaalliset joukot saivat runsaasti kohteita ja alueita haltuunsa ilman ainuttakaan kuolonuhria. Venäjä käytti tehokkaasti hyödykseen myös valmiuslakien ja sotatilalakien käyttöönoton viivästymistä Ukrainassa. Ukrainalaisilla sotilailla ei ollut alkuvaiheessa lain määrittämää oikeutta ampuu tunkeilijoita. [3]

Edellä mainittujen seikkojen valossa voidaan todeta, että voitettu taistelu ilman kuolonuhreja on paras taistelu. Imagotappiot vaikeuttavat aina poliittisten tavoitteiden saavuttamista. Venäläiset saivat haluamiaan alueita haltuunsa ilman paikallisten siviiliuhrien tai ukrainalaisten sotilaiden menetyksiä. Tämä oli erittäin oleellista alueiden miehittämisessä. [3]

Sotilaallisessa kontekstissa on siis hyvä tarkastella tappavien menetelmien lisäksi myös menetelmiä ja järjestelmiä, joilla ihmisiin ja joukkoihin voidaan vaikuttaa ilman tappamista. Tällaiset ei-tappavat menetelmät (englanniksi non-lethal weapons) ovat usein harvoja mahdollisia rauhan aikana. Tässä tutkimuksessa tutkitaan äänihäirinnän käyttämisen mahdollisuutta juuri ei-tappavien asejärjestelmien viitekehyksessä.

Urbanisoitumisen myötä ympäristössämme kovat äänet ja jatkuva melu ovat lisääntyneet. Tutkijoiden mielenkiinto on suuntautunut erityisesti matalien taajuuksien vaikutuksiin ihmisessä. Esimerkiksi tuulivoimaloiden lisääntyessä niiden läheisyydessä asuvista ihmisistä osalla on todettu oireita, kuten verenpaineen nousu, verisuonien seinämien paksuuntuminen, unettomuus ja korvien lukkiuntuminen. Tuulivoimaloiden tiedetään tuottavan matalataajuisia värähtelyä [4] [5]. Tieteellisesti oireita on ollut vaikea yhdistää tuulivoimaloihin, mutta monet arvelevat niiden olevan oireiden takana.

Tässä tutkimuksessa ei keskitytä äänen fyysisiin oireisiin, vaan pyritään saamaan selville, että onko äänillä häiritsevää vaikutusta ihmisen kognitiiviseen aivotoimintaan. Jos äänillä voidaan häiritä esimerkiksi ihmisen päätöksentekokykyä tai keskittymiskykyä, niin silloin ääniase voisi olla hyödyllinen ei-tappavana asejärjestelmänä. Vastustajan avaintoimijoita, kuten poliittisia päättäjiä ja sotilasjohtajia voitaisiin häiritä ja saada vaikutusta ilman ihmishenkien menetyksiä ja pysyviä imagotappioita

## 1.1. Tutkimusongelma ja tutkimuskysymykset

Tutkimusongelmaksi tässä tutkimuksessa määritellään mahdollisuus käyttää ääntä vaikuttimena niin, että haluttu vaikutus on kohteena olevan henkilön kognitiivisen toimintakyvyn heikkeneminen. Päättötutkimuskysymys on:

*Voiko äänellä toteutetulla häirinnällä vaikuttaa nuoren sotilaan kognitiiviseen toimintakykyyn?*

Apututkimuskysymykset:

*Miten ääntä voidaan käyttää häirinnän välineenä?*

*Onko äänihäirinnällä vaikutusta kognitiiviseen toimintakykyyn ja subjektiivisiin kokemuksiin?*

*Vaikuttaako äänen ennakkoimattomuus häirinnän vaikutukseen ja kokemusten voimakkuuteen?*

## 1.2. Aikaisempi tutkimus

Tutkimussuunnitelmavaiheessa tehdyn esiselvityksen mukaan ääniaseista löytyy jonkin verran tutkimustietoa. Iso osa niistä keskittyy nimenomaan äänten fysiologisiin vaikutuksiin. Tästä esimerkkinä on Francis & Taylor:ssa vuonna 2001 julkaistu Jürgen Altmann:in tekemä laaja laadullinen tutkimus ääniaseista. Artikkelit tutkimuksesta on julkaistu nimellä *Acoustic Weapons - A Prospective Assessment*. Artikkelissa pohditaan äänen fysikaalisia ominaisuuksia ja vaikutuksia yleisesti, mutta psyykkisten vaikutusten tutkimista pidetään hyvänä jatkotutkimuksena. [6]

Esiselvityksessä löydettiin muutamia tutkimuksia, joissa äänen vaikutuksia oli selvitetty nimenomaan kognitiivisesta näkökulmasta. A. P. Smith Oxfordin yliopistosta toteutti empiiristen tutkimuksen erilaisten äänien vaikutuksista A. D. Baddeleyn kehittämään kielelliseen koeasetelmaan. Smith testasi jatkuvan valkoisen melun, sekalaisen kirjoituskoneen melun, musiikin ja sekalaisen puheen vaikutuksia. Smith totesi, kuten Baddeleykin oli jo aikaisemmin todennut, että jatkuvalla valkoisella melulla ei ollut vaikutuksia kielellisiin kokeisiin [7]. Kuitenkin Smith totesi kaikkien muiden asetelmassa testattujen äänien häiritsevän kielellisten kokeiden suorittamista. [8]

Melun vaikutuksia kognitioon ovat tutkineet myös mm. D. E Broadbent ja M. Gregory vuonna 1965. Heidän koeasetelmassaan selvitettiin melun vaikutusta vigilanssiin, eli valppauden ylläpitämiseen. Tutkimuksessa koehenkilöt katsoivat lamppujen välähdyksiä, jotka ilmestyivät eri rytmillä. Koehenkilöiden piti havaita lamppujen hieman kirkkaampi välähtäminen ja ilmoittaa siitä. Tutkimustulosten mukaan melu häiritsi kirkkaamman välähdyksen havaitsemista sitä enemmän, mitä nopeammassa rytmissä lamput välähtelivät. Tutkimuksessa selvitettiin myös, oliko melulla enemmän vaikutuksia, jos tarkkailtavia lamppuja oli useampia, kuin yksi. Koehenkilöt jaettiin ryhmiin, joista toiset tekivät useamman lampun seuraamista eri nopeuksilla ja toiset tekivät yhden lampun seuraamista eri nopeuksilla. Molempien tarkkaavaisuustehtäväversioiden tulokset laskivat melun vaikutuksesta, eikä eroa tarkkailtavien lamppujen määrän suhteen havaittu. Melu häiritsi siis yhtä paljon kirkkauden havaitsemista, kun tarkkailtavia lamppuja oli yksi tai kolme. Melun äänenpainetasot tutkimuksessa olivat 75dB ja 100dB, melutasot oli tasapainotettu koehenkilöiden eri ryhmien suhteen. [9]

Portugalilaisen Castelo Branco:n tutkijaryhmä on selvittänyt portugalilaisen perheen pyynnöstä matalataajuisen äänen vaikutuksia. [10] Perheen asuinpaikan lähelle oli rakennettu tuulivoimaloita. Rakentamisen jälkeen perhe oli saanut monenlaisia oireita, joiden yhteyttä tuulivoimaloihin perhe oli selvittänyt oikeudessa. Tutkijaryhmä on tutkimuksessaan selvittänyt matalataajuisen äänen vaikutuksia ja perhe on tutkimusten avulla voittanut ensimmäisenä maailmassa oikeustapauksen tuulivoimalayhtiötä vastaan. [10] Matalataajuisen äänen vaikutus fyysiseen oireiluun ei kuitenkaan ole kiistaton. Monissa tutkimuksissa ilmoitetut oireet eivät ole korreloineet infraäänien melutasojen mukaisesti. Tästä hyvä esimerkki on työ- ja elinkeinoministeriön tuulivoimameluraportti vuodelta 2017 [11].

Myös terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen tilaama selvitys osoittaa, että Suomessa tuulivoimaloiden läheisyydessä ilmoitetut fyysiset ja psyykkiset oireet eivät korreloi melutasojen kanssa. Tutkimus osoitti myös, että ilmoitettuja häiriötekijöitä oli tuulivoimaloiden läheisyydessä asuvien määrään suhteutettuna todella vähän. [5]

Aikaisemman tutkimuksen perusteella äänen häiritsevien vaikutusten uskotaan olevan sidonnainen ensisijaisesti äänen voimakkuuteen. Tuulivoimaloiden läheisyydessä tehdyt tutkimukset eivät osoita, että äänellä voisi olla muita ominaisuuksia, jotka vaikuttavat häiritsevyyteen, kuin äänen voimakkuus. Tämän tutkimuksen esiselvityksen perusteella on syytä tutkia äänen vaikutuksia kognitiiviseen toimintakykyyn muuten, kuin äänen voimakkuutta säätelemällä. Tällaisia säädeltäviä ominaisuuksia voisi olla esimerkiksi äänen taajuus tai äänen esiintymisen ennakoimattomuus.

### 1.3. Tutkimuksen rajaukset

Tässä tutkielmassa perehdytään äänen vaikutuksiin ihmisen kognitiiviseen toimintakykyyn. Kaikki muut vaikutukset ihmisessä rajataan tämän tutkimuksen ulkopuolelle. Tutkimuksessa testataan yksinkertaisen, ihmiselle turvallisen, kuuloalueella olevan äänen mahdollisia vaikutuksia nuorten sotilaiden kognitiiviseen toimintakykyyn ja subjektiiviseen kokemukseen. Tutkimuksessa testattavien äänten ominaisuudet valitaan niin, että kohdehenkilöille ei tule tilapäisen tai pysyvän kuulovaurion vaaraa.

### 1.4. Tutkimuksen rakenne

Tutkimuksen rakenne perustuu yleisesti empiirisessä tutkimuksessa käytössä olevaan rakenteeseen. Tässä luvussa on avattu lukujen sisältö muutamalla tiivistävällä lauseella.

#### Luku 1: Johdanto

Johdannossa alkujohdatuksen jälkeen esitellään tutkimuksen tausta käymällä läpi aikaisempaa tutkimusta. Aikaisemman tutkimusten perusteella todetaan tutkimuksen rajausta. Tarkoituksena on perustella tutkimuksen aiheen tärkeys, osoittaa tutkimusongelma ja osoittaa, mitkä tutkimuskysymykset halutaan selvittää. Johdantolukuun sisältyy myös tämä kuvaus tutkimuksen rakenteesta.

#### Luku 2: Tutkimuksen teoreettinen tausta

Tutkimuksen ensimmäisessä varsinaisessa sisältöluvussa käsitellään vaikuttavan ilmiön, äänen fysikaaliset perusominaisuudet ja mitattavan ilmiön, kognitiivisen toiminnan suuret ja tekniset määritelmät. Sisältöluvussa käsitellään myös akustiikan käsitteistöä sekä äänen ja melun vaikutusta ihmiseen. Luvun kaksi tarkoituksena on havainnollistaa ääni mitattuna ja koettuna ilmiönä sekä vakioida tutkimustulosten tulkinnan kannalta olennaisimmat suuret ja käsitteet. Kognitiivisen toiminnan osalta perustellaan käytettävät mittarit ja esitellään mittareiden teoreettinen tausta.

#### Luku 3: Tutkimuksen tavoitteet ja hypoteesit

Kolmannessa luvussa osoitetaan teoreettisen taustan perusteella johdetut tutkimuksen tavoitteet ja hypoteesit. Hypoteesit perustuvat aikaisempiin tutkimustuloksiin kognitiivisten testien tuloksista, sekä tutkijan omaan subjektiiviseen arvioon äänen vaikutuksista.



## Luku 4: Tutkimusmenetelmät

Luvussa 4 luvussa esitellään tutkimuksen empiiriset mittausmenetelmät ja kuvataan testijärjestelyt. Sisältöluvun päätavoitteena on muodostaa tutkimuksen empiirinen testiosuus ja kuvata se mahdollisimman tarkasti reliaabeliuden saavuttamiseksi.

## Luku 5: Tutkimustulokset

Tutkimustulokset esitellään ja analysoidaan saadut testitulokset tutkimuksen rajausten ja tutkimuskysymysten mukaisesti. Luku on jaettu alalukuihin testin osa-alueiden mukaan.

## Luku 6: Johtopäätökset

Tässä luvussa muodostetaan tutkimuksen johtopäätökset teorian ja tulosten pohjalta. Johtopäätöksissä vastataan tutkimuskysymyksiin.

## Luku 7: Pohdinta

Pohdintaluvussa tutkija tarkastelee tekemäänsä tutkimusta ja pohtii johtopäätösten yleistettävyyttä muuhun, kuin tässä tutkimuksessa järjestettyyn koeasetelmaan. Pohdintaluvussa otetaan kantaa myös mittausepävarmuuksiin. Lopuksi luvussa esitellään tutkijan havaitsemat jatkotutkimustarpeet.

## 2. Tutkimuksen teoreettinen tausta

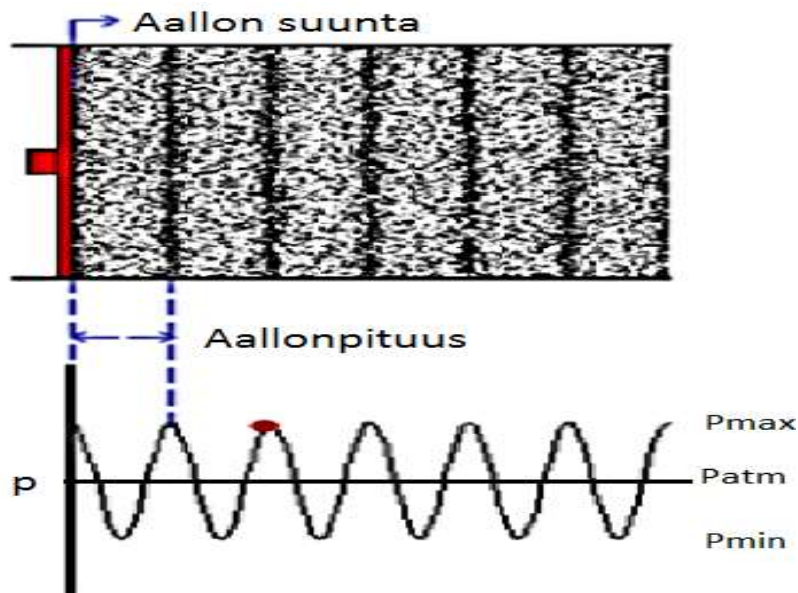
Ääni on tässä tutkimuksessa ryhmittelymuuttuja, jonka perusteella mitattavan jatkuvan muuttujan eli kognitiivisen toimintakyvyn testiarvot sekä subjektiiviset kyselyt ryhmitellään. Tutkimuksen kannalta oleellista on ymmärtää äänen fyysiset ominaisuudet, sen eteneminen ja vaimeneminen. Lisäksi on oleellista ymmärtää äänen tunnettuja vaikutuksia ihmisessä sekä ymmärtää kognitiivisen toimintakyvyn peruskäsitteitä ja sen mittaamista. Kognitiivista toimintaa tarkastellaan luvussa taistelukentän tehtäviin sitoen. Tavoitteena on mahdollistaa tutkimustulosten oikea ja yhtenäinen tulkinta ilman aikaisempaa perehtyneisyyttä alan kirjallisuuteen.

Yhteenvetoalaluvussa muodostetaan vastaus apututkimuskysymykseen: *Miten ääntä voidaan käyttää häirinnän välineenä?*

### 2.1. Ääni fysikaalisena ilmiönä

Ääni on molekyylien värähtelyä. Se syntyy jonkin kappaleen värähdellessä väliaineessa. Värähtely välittyy molekyylistä toiseen väliaineessa ja väliaineesta toiseen. Värähtelyn välittyessä eteenpäin syntyy ketjureaktio, jota kutsumme aaltoliikkeeksi. Molekyylit itsessään eivät etene, vaan värähtelevät aallon etenemissuuntaan ja takaisin paikallaan. Aalto sen sijaan etenee ja sillä on suunta. Ääniaallot etenevät kaasuissa pitkittäisinä aaltolina, mutta voivat kiinteissä väliaineissa tai esimerkiksi väliaineesta toiseen siirtyessään edetä myös poikittaisena aaltoliikkeenä. [12]

Meille ihmisille tyypillisin ääniaaltojen väliaine on maapallomme ilmakehä. Ilmakehässä välittää maan vetovoiman ansiosta ilmanpaine, jota kutsutaan staattiseksi ilmanpaineeksi. Ilmanpaineen yksikkö on 1 Pascal (Pa). Värähtelevä kappale aiheuttaa painehäiriön staattisessa ilmanpaineessa, joka etenee, kuten veteen heitetyn kiven aiheuttamat aallot, mutta kolmiulotteisesti. Vaikka ääniaallot ovatkin pitkittäistä aaltoliikettä, niin niitä kuvataan usein poikittaisena siniaaltona. Poikittaisena kuvattuna y-akselilla on hetkellinen paine ja x-akselilla on paikka tai aika. Aallon etenemistä väliaineessa vastustaa kitka. Kitka vaihtelee väliaineen tiheydestä ja lämpötilasta riippuen. [12; 13]



Kuva 1. Äänen kuvaaminen painevaihtelun suhteen [14]

Kuva 1 havainnollistaa pitkittäisen aaltoliikkeen kuvaamista poikittaisena. Ylempänä kuvassa punaisella on värähtelijä, joka tuottaa oikealle päin etenevän ääniaallon. Mustat pisteet kuvaavat molekyylejä. Molekyylien ollessa tiheässä, on paine korkea ja päinvastoin. Kuvassa näkyy, miten äänenpaine vaihtelee maksimiarvon ja minimiarvon välillä säännöllisesti. Keskimmäinen viiva  $p_{\text{atm}}$  kuvaa staattista ilmanpainetta.

## 2.2. Paine, teho ja intensiteetti

Ääntä voidaan siis havainnoida hetkellisinä painevaihteluina. Pienin äänenpaine, jonka ihminen keskimäärin kuulee korvalla, on  $20\mu\text{Pa}$  ( $20$  mikro-Pascal =  $20 \cdot 10^{-6}\text{Pa}$ ). Ihmisen kuuloaisti kykene aistimaan äänenpainetta erittäin isolla skaalalla, sillä kuuloaistin kipuraja on taajuudesta ja yksilöstä riippuen n.  $20\text{Pa}$ . [13]

Paineen lisäksi äänelle voidaan antaa myös tehollinen arvo. Tehon tunnus on  $P$ . Äänen tehon yksikkö saadaan, kun  $20\mu\text{Pa}$  ääniaalto kulkee kohtisuoraan äänen etenemissuunnassa olevan, pinta-alaltaan  $1\text{m}^2$  alueen läpi. Alueen läpi kulkee tällöin  $1\text{pW}$  (pico-watti =  $10^{-12}\text{W}$ ) teho. [13]

Äänen tehosta voidaan määrittää myös äänen intensiteetti  $I$ , joka tarkoittaa tehoa  $P$  tietyllä pinta-alalla  $A$ :

$$I = \frac{P}{A} \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

Pistemäinen äänilähde tuottaa vapaassa tilassa ympärilleen palloaallon, joten äänen teho jakaantuu koko pallon pinta-alalle  $A = 4\pi r^2$ . Näin ollen äänen intensiteetille pätee ns. käänteisen etäisyyden laki, eli intensiteetti pienenee etäisyyden neliössä:

$$\frac{I_1^2}{I_2^2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}, \text{ jossa:}$$

$I_1$  = Intensiteetti etäisyydellä 1,  $[\text{W/m}^2]$

$I_2$  = Intensiteetti etäisyydellä 2,  $[\text{W/m}^2]$

$r_1$  = etäisyys 1 äänilähteestä,  $[\text{m}]$

$r_2$  = etäisyys 2 äänilähteestä,  $[\text{m}]$

Paineessa, intensiteetissä ja tehossa suureina ongelmallista on se, että ne poikkeavat kuuloaistimme skaalasta. Pico-wattien suhteuttaminen tuhansiin watteihin, tai mikro-Pascaleiden suhteuttaminen Pascaleihin, on usein hankalaa. Suhteita on helpompi ymmärtää käytettäessä pienempiä lukuja. Skaalan lisäksi ongelmana on se, miten kuulomme aistii painevaihtelut. Kuuloaistimme ei aisti ääntä lineaarisesti, vaan keskimäärin melko logaritmisesti. Tämä tarkoittaa sitä, että ihminen aistii äänenvoimakkuuden kymmenkertaistumisen aina samanlaisena muutoksena. Tämän takia yleisesti kolmea suuretta: painetta, tehoa ja intensiteettiä kuvataan logaritmisella desibeliasteikolla. Näin toimittaessa puhutaan *painetasosta*, *tehotasosta* ja *intensiteettitasosta* [13, s. 10 - 12]. Logaritminen desibeliasteikko on dimensioton asteikko, jossa suureen arvoa verrataan johonkin vertailuarvoon. Äänen tapauksessa vertailuarvo on ns. nollataso, kuulokynnyys. Kaikki kolme suuretta voidaan suhteuttaa desibelin avulla kuulokynnykseen seuraavasti [13, s. 10 - 12]:

$$L_p = 20 \log_{10} \left( \frac{p}{p_0} \right) \text{ dB, jossa:}$$

$L_p$  = äänen painetaso

$p$  = äänenpaine

$p_0$  = vertailutaso ( $20 \mu\text{Pa}$ ).

$$L_P = 10 \log_{10} \left( \frac{P}{P_0} \right) \text{ dB, jossa:}$$

$L_P$  = äänen tehotaso

$P$  = äänen teho

$P_0$  = vertailutaso ( $10^{-12} \text{W}$ ).

$$L_i = 10 \log_{10} \left( \frac{I}{I_0} \right) \text{ dB, jossa:}$$

$L_i$  = äänen intensiteettitaso

$I$  = äänen intensiteetti

$I_0$  = vertailutaso ( $10^{-12} \text{W/m}^2$ ).

Logaritmisien asteikko perustuu kymmenen potensseihin. Tästä seuraa mitatun suureen lineaarisen arvon kasvaminen sitä jyrkemmin, mitä pidemmälle asteikolla edetään. Tästä syystä desibeliasaiteikko on todella hyödyllinen suurten tasoerojen kuvaamiseen pienillä luvuilla [12, s. 26]. Desibelistä tuleekin usein ensimmäisenä mieleen äänen voimakkuus tai sähkömagneettisten signaalien voimakkuus.

Äänen voimakkuudesta desibeleinä puhuttaessa on siis tärkeää ymmärtää mitä suuretta desibeliasaiteikolla kuvataan. Tehotasoa, painetasoa vai intensiteettitasoa? Hyvin yleisesti äänen voimakkuudesta puhuttaessa käytetään äänen painetasoa  $L_p$ , jota kuvataan myös kirjainlyhenteellä SPL (sound pressure level). Taulukossa 1 on esitelty muutamia äänenpainetasoja, niiden lähteitä ja vaikutuksia.

Taulukko 1. Ääniesimerkkejä [15]

Äänenpainetaso dB SPL	Äänilähde	Kuvaus
180	Raketin laukaisualusta	Peruuttamaton kuulon menetys
140	Suihkuhävittäjien operointi lentotukialuksella, ilmavaroitussireeni	Kivuliaan kova
130	Ukkosen jyrähdys	
120	Hävittäjän lentoonlähtö 61m etäisyydellä, auton varoitustorvi 1m etäisyydellä	Maksimi lauluvoima
110	Paalutusjunta, rock konsertti	Erittäin kova
100	Jäteauto	Kova
90	Voimakas liikennemelu	Erittäin ärsyttävä (kuulovaurio 8h)
80	Herätyskello 60cm etäisyydellä	Ärsyttävä
70	Meluisa ravintola,	Puhelimen käyttö vaikeaa
60	Puheääni	Huomattava
50	Kevyen auton liikennemelu 30m etäisyydellä	Hiljainen
40	Hiljainen toimisto	
30	Kevyt kuiskaus 4,5m etäisyydellä	Erittäin hiljainen
20	Radiostudio	
10		Juuri kuultavissa
0		Kuulokynnys

### 2.3. Taajuus, aallonpituus ja amplitudi

Värahtelevä kappale tuottaa jaksollista painevaihtelua ympäristöönsä. Taajuus kuvaa näiden jaksojen esiintymistiheyttä aikayksikössä (1s). Taajuuden tunnus on  $f$  (frequency) ja yksikkö on 1/s jota kutsutaan nimellä hertsi (Hz). Äänen tapauksessa jaksollisesti tapahtuva ilmiö on paine. Toisin sanoen äänen taajuus kertoo saapuvien jaksollisten painevaihtelujen kokonaisten jaksojen lukumäärän sekunnissa. [12]

Äänen nopeus väliaineessa on suhteellisen vakio. Nopeuteen vaikuttaa väliaineen tiheys, johon taas vaikuttaa väliaineen lämpötila. Toisin sanoen äänen nopeuteen vaikuttaa väliaineen tyyppi ja lämpötila. Äänen nopeus ilmassa, merenpinnan tasossa ja 20°C lämpötilassa on n. 340m/s. [12]

Aallon pituus on matka, jonka aikana painevaihtelu on tehnyt yhden kokonaisen jakson (ks. kuva 1). Äänen nopeuden ilmassa ollessa suhteellisen vakio, voidaan taajuudesta laskea aallonpituus.

$$\frac{c}{f} = \lambda, \text{ jossa:}$$

$c$  = äänen nopeus väliaineessa

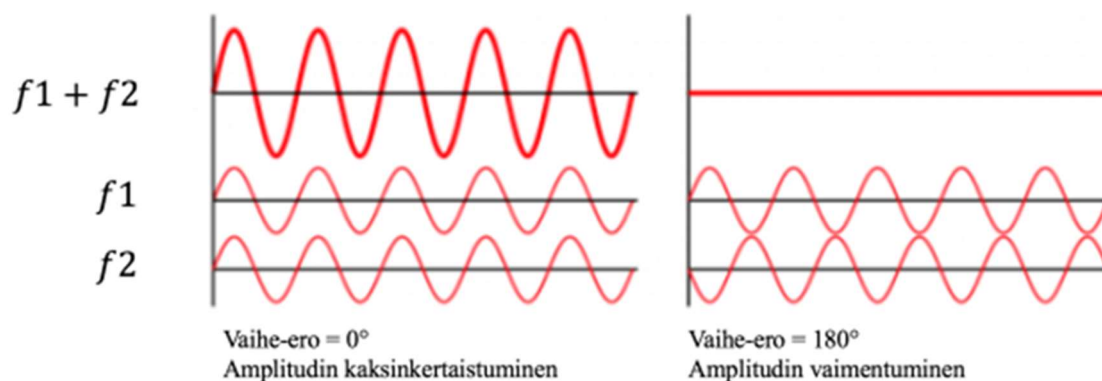
$f$  = taajuus

$\lambda$  = Aallonpituus

Äänen voimakkuutta (hiljainen tai voimakas) kuvaa äänenpainetason lisäksi käsite amplitudi. Se tarkoittaa sitä äänen ominaisuutta, miten kauas staattisen ilmanpaineen arvosta ilmanpaineen muutos ulottuu joko positiiviseen suuntaan (jolloin ilma tihentyy) tai negatiiviseen suuntaan (jolloin ilma harvenee). Ihminen aistii ja ymmärtää vaihtelun positiiviseen tai negatiiviseen suuntaan samanlaisena ja ääni kuulostaa samalta. Keskitasosta kumpaankin suuntaan tapahtuva paineen vaihtelu siis edustaa ääntä, kun taas keskitaso edustaa hiljaisuutta. Amplitudin tunnuksena käytetään kirjainta  $y$ . [12, s. 6].

## 2.4. Interferenssi

Eri ääniaaltojen kohdatessaan toisensa, tapahtuu ilmiöitä, joista tämän tutkimuksen kannalta oleellista on ymmärtää erityisesti yhdistyminen eli interferenssi. Mm. korvan vahvistava vaikutus perustuu tähän ilmiöön. Saman aallonpituuden omaavat ääniaallot samassa vaiheessa (koherentit aallot) vahvistavat toisiaan ja eri vaiheessa kumoavat toisiaan. Tätä kutsutaan interferenssiksi. Kuvassa 7 voimistuneen summa-aallon amplitudi on kaksinkertaistunut. Eri vaiheissa olevat aallot sen sijaan heikentävät toisiaan ja täsmälleen yhtä voimakkaat 180<sup>0</sup> vaihe-eron aallot kumoavat toisensa. Vahvistavaa interferenssivaikutusta kutsutaan myös konstruktiiiviseksi interferenssiksi ja vaimentavaa destruktiiviseksi interferenssiksi. [12]



Kuva 2. Aaltojen summautuminen [12, s. 10]

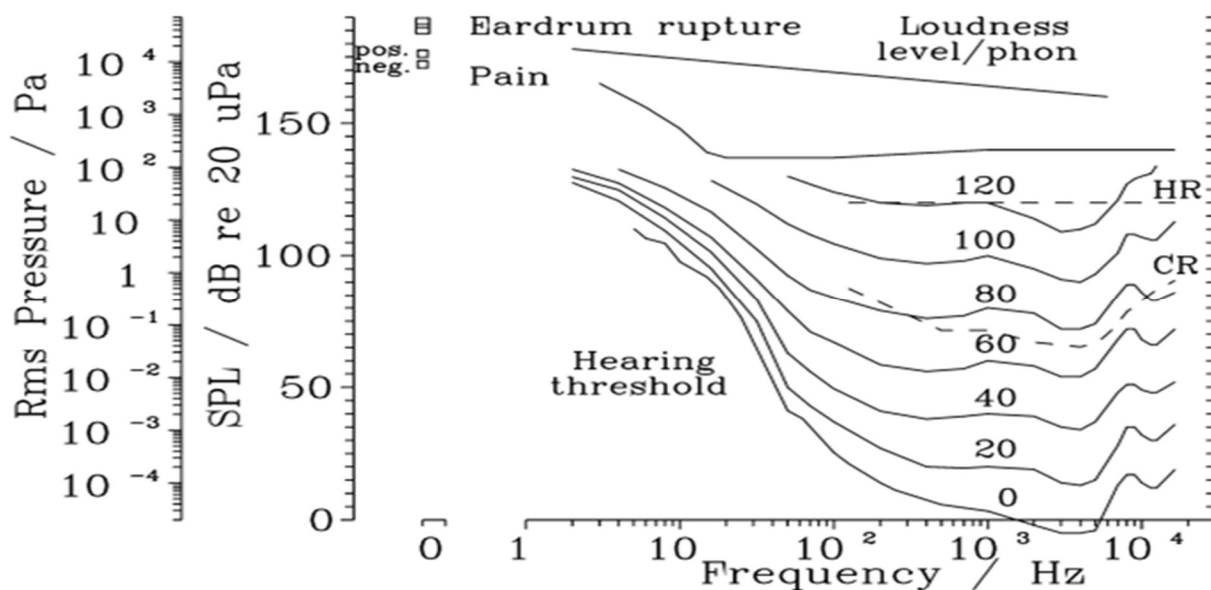
Käytännön elämässä ääniaallot melko harvoin kaksinkertaistuvat tai kumoavat toisensa täysin. Summautuminen tapahtuu osittain taajuus- ja vaihe-eroista johtuen. Yhdistyneet aallot eivät usein ole siniaallon kaltaisia säännöllisiä aaltoja, vaan ovat aaltomuodoiltaan usein monimutkaisia. Aaltomuotojen muokkautumista kutsutaan modulaatioksi. [12, s. 10 - 11]

## 2.5. Ihmisen kuuloaisti

Kuuloaisti on erittäin tärkeä taistelukentällä. Kuulon kautta vastaanotetaan käskyjä ja saadaan tilanneilmoituksia, havainnoidaan taistelukenttää yms. Monen taistelukentän tehtävän toteutumisen kannalta kuuloaistin riittävän hyvä toiminta on ehdoton vaatimus. Tässä alaluvussa ei pureuduta analyttisesti korvan rakenteisiin ja niiden haavoittuvuuksiin vaan perehdytään ennen kaikkea ihmisen kuuloaistin ominaisuuksiin. Kuuloaistin lisäksi on tärkeää ymmärtää kuulovaurioiden syntymekanismia ja sitä käsitellään tässä luvussa myös hieman.

Ihminen aistii äänet lähinnä kuuloaistin avulla. Riittävän voimakasta värähtelyä voi aistia myös tuntoaistilla, esimerkiksi rintakehän alueella värähtelynä. Kuuloaistilla on aivojen ja autonomisen hermoston kautta yhteys useisiin ihmisen elinjärjestelmiin [4, s. 20]. Äänen aiheuttama muutos vallitsevassa ilmanpaineessa etenee väliaineessa ihmisen korvakäytävään ja sitä kautta tärykalvolle. Korvanlehti vahvistaa ääntä noin 5dB. Tärykalvon jälkeen ihmisen välikorvan kuuloluut välittävät värähtelyn sisäkorvan täyttävään nesteeseen. Sisäkorvassa sijaitsevat ihmisen tasapainoelin ja varsinainen kuuloelin, eli simpukka. Simpukassa sijaitsevat aistinsolut muuttavat värähtelyt lopulta hermoimpulsseiksi. [5, s. 78 - 79; 16, s. 16]

Ihmiskorva aistii ilmanpaineen jaksollista muutosta, värähtelyä, erittäin herkästi. Ihminen havaitsee pienimmillään n.  $20\mu\text{Pa}$  suuruisen painevaihtelun 1000Hz taajuudella ja ymmärtää sen äänenä. Tämä pienin ihmisen kuulema äänenpainetaso on logaritmisesta desibeliasteikon nollataso, kuulokynnys. Korvan herkkyys vaihtelee kuitenkin taajuuksittain ja yksilöittäin.



Kuva3. Ihmisen kuuloaisti [6, s. 178]

Kuvassa 3 on paljon informatiivista tietoa ihmisen kuuloaistista. Pystyakselilla yksikkönä on äänenpainetaso desibeleinä SPL asteikolla sekä desibelilukua vastaava painevaihtelun suuruus Pascaleina. Vaaka-akselilla on logaritmisesti kuvattuna taajuusalue. Kuvasta näkyy ihmisen kuuloaistin herkkyys eri taajuuksilla. Ihmiskorva on herkimmillään 1kHz - 10kHz taajuuksilla (ihmisen puhetaajuudet) ja huononee taajuuden pienentyessä tai kasvaessa. Alin käyristä on ihmisen kuulokynnys.

Äänekkyysasteikolla ilmoitettuna kuulokynnys on 0 foonia. Äänekkyysasteikko on psykoakustiikkaa ja se kertoo, kuinka voimakkaana ihminen kokee äänen. Samalla äänekkyysasteikon viivalla olevat äänet ihminen kokee yhtä voimakkaina, vaikka niiden äänenpainetaso vaihtelee taajuuden mukaan. Äänekkyysasteikko kohtaa SPL asteikon 1000Hz taajuudella. Eli esimerkiksi 60 foonin äänenvoimakkuus 100Hz taajuudella koetaan yhtä voimakkaina kuin 60 dB SPL 1000Hz taajuudella. Todellisuudessa äänenpainetasoltaan 100Hz taajuinen 60 foonin ääni on n.75dB SPL, mutta kuuloaistin ominaisuuksista johtuen äänet koetaan yhtä voimakkaina. [kuva 3].

Taajuusalueena hyvän kuuloaistin omaava ihminen kuulee n. 20Hz - 20kHz taajuuksia [5]. Tätä taajuusaluetta kutsutaan myös auditiiviseksi äänialueeksi. Alle 20Hz taajuuksista ääntä kutsutaan infraääneksi ja yli 20kHz ultraääniksi. Nämä kuulokynnyksen taajuuksirajat on sovittu yleisesti, ja ne perustuvat ihmisten keskimääräiseen kuuloalueeseen. Huomioitava on, että myös auditiivisen äänialueen ulkopuoliset äänet ovat usein kuultavissa, jos niiden äänenpainetaso on riittävästi korkea.



Kuvan 3 ylintä viivaa ovat kipuraja ja tärykalvon repeytymä. Kuvaan on merkattukatkoviivoilla pysyvän kuulon aleneman kohtuullisen riskin arvo CR ja korkean riskin arvo HR. [6, s. 175 - 177]

Tutkimusten mukaan kuvan 3 arvot ovat kuitenkin viitteellisiä [5, s. 12 - 13; 6]. Kuuloaistissa on yksilöllisiä eroja ja esimerkiksi vanhetessaan ihmisen kuulo heikkenee. Toisin sanottuna ihmisen vanhentuessa kuulokynnys nousee. Kuuloliiton internetsivujen mukaan ”Puheen kuulokynnys mitataan 125 – 8000 Hz, mistä määritellään puhealueen kuulokynnys. Tämä tarkoittaa 500, 1000, 2000 ja 4000 Hz:n kuulokynnysten keskiarvoa mitattuna paremmasta korvasta”. Kuuloliiton mukaan kuuloa pidetään normaalina, kun kuulokynnys on 10-20dB. Sosiaalisen kuulemisen raja on 30dB, puhekuulon raja 60-65dB ja kuurouden rajana pidetään 85-90dB. [17]

Todella kovat äänet hetkellisinä piikkeinä tai kovat äänet pidempikestoisina annoksina tuottavat korvalle pysyviä tai tilapäisiä vaurioita. Vaurioiden syntyminen on kuuloaistin tapaan ihmisille yksilöllistä. Yleisesti voidaan kuitenkin tarkastella arvoja, joilla riski tilapäiseen tai pysyvään kuulovaurioon kasvaa tilastollisesti merkittävästi. Kuulovauriot saattavat ilmentyä vain joillain tietyllä kapealla taajuusalueella, useilla eri taajuuksilla tai laajemmalla taajuusalueella. Voimakas ääni auditiivisella taajuudella yleensä vaurioittaa kuuloaistia kapeakaistaisesti juuri kyseiseltä taajuusalueelta, mutta poikkeuksiakin on havaittu. Vaurioitua saattaa laajempikin taajuuskaista, tai kuuloaisti saatetaan menettää lähes kokonaan [6]. Sisäkorvan rakenteesta johtuen herkimpiä taajuusalueita kuulo-vauriolle ovat korkeat taajuudet. Myös iän myötä korkeiden taajuuksien kuuleminen heikkenee ja esimerkiksi heinäsiirkojen siritys (korkea taajuus) saattaa jäädä iän myötä kuuloalueen ulkopuolelle. [6]

## 2.6.Äänen/melun vaikutukset kognitiiviseen toimintakykyyn

Äänen kulkeutuessa ihmisen korvaan, korvakäytävän kautta välikorvaan, se vaikuttaa kuuloluiden välityksellä sisäkorvan nesteeseen. Sisäkorvassa olevassa simpukassa on aistinyksiköitä, mekanoreseptoreita, joissa on kuulokarvoja. Värähtelevä sisäkorvaneste aktivoi kuulokarvoja. Kuulokarvoissa ääni muuttuu sähköisiksi signaaleiksi, jotka kulkeutuvat hermoja pitkin aivokuorelle. Tätä tavallista kuulomekanismia kutsutaan auditiiviseksi vaikutuskanavaksi. [5]

Äänillä on vaikutuksia ihmiseen myös kuulomekanismin ulkopuolella. Sisäkorvassa sijaitsevat tasapainoelimet stimuloituvat myös sisäkorvanesteen värähdellessä. Näin ollen äänillä voi olla vaikutuksia aivokuorelle myös esimerkiksi tasapainosysteemin kautta. Tätä kuulokeskuksen ulkopuolista vaikutusmekanismia kutsutaan ei-auditiiviseksi vaikutuskanavaksi. Riittävän suuri altistuminen esimerkiksi matalille taajuuksille voi aiheuttaa sisäkorvan nestekierron häiriön, eli ns. hydrops tilan. Tällaisessa hydrops tilassa sisäkorvan mekanismit eivät toimi oikein ja se aiheuttaa monenlaisia haitallisia oireita, kuten vaikkapa tinnitus, stressitason voimakas nousu tai tasapainohäiriöt. [5]

Äänellä on tutkitusti vaikutuksia aivokuoren kautta moniin eri osa-alueisiin. Esimerkiksi erilaisten rytmisten äänten on tutkittu aktivoivan motorista hermostoa ohjaavia aivonosia. Tämä esimerkki osoittaa äänillä olevan muitakin vaikutuksia, kuin kuuloaistimukset. [5]

Voisiko äänimanipulaatiolla tulevaisuudessa ohjata ihmisen aivoja häiritsevästi tai tehostavasti? Tietynlaisilla äänipulsseilla voitaisiin vaikuttaa esimerkiksi ihmisen muistiin tai keskittymiskykyyn. Aivotutkimuksen edistyminen saattaa avata äänistimulaatiolle täysin uusia ennalta arvaamattomia mahdollisuuksia. [18]

Aivotutkimusten kehittymisen myötä on löydetty erilaisia aivostimulaation keinoja, joilla voidaan esimerkiksi tehostaa oppimista. Puhutaan aivokäyttöliittymistä. Aivojen sähköisellä toiminnalla on voitu jo ohjata yksinkertaisia laitteita. Aivokäyttöliittymät toimivat myös toiseen suuntaan, eli esimerkiksi erilaisilla sähköhoidoilla on voitu parantaa esimerkiksi muistisairautta. Kuuloaisti on myös eräänlainen aivokäyttöliittymä. Sisäkorvassa värähtely muuntuu sähköimpulsseiksi, joka aivokuorella tulkitaan äänenä [6].

Ääni muuntuu sisäkorvassa sähköimpulsseiksi, joka kulkeutuu kuulohermoja pitkin aivoihin. Aivot säätelevät koko kehon toimintoja ja ääniärsykkeillä on havaittu yhteyksiä monenlaiseen aivotoimintaan, myös kognitioon. [5, s. 78 - 85].

”Kognitio tarkoittaa ihmisen tiedonkäsittelytoimintaa, tiedon hankkimista, käsittelyä ja kehittämistä. Tyypillisiä kognitiivisia prosesseja ovat ajattelu, ongelmanratkaisu ja oppiminen” [11]. Kognitiivinen toimintakyky käsittää muun muassa muistin-, oppimisen-, keskittymisen-, tarkkaavuuden-, hahmottamisen-, orientaation-, tiedon käsittelyn-, ongelmien ratkaisun-, toiminnanohjauksen- ja kielellisiä toimintoja. [19]

Ihmisen aivot ovat kompleksinen kokonaisuus ja eri osa-alueet toimivat tiiviissä yhteistyössä keskenään. Aivosähkökäyrästä (EEG) voidaan löytää aivoista aktiivisia osa-alueita, esimerkiksi musiikin kuuntelun on havaittu aktivoivan aivonosia, jotka säätelevät mm. vireyttä, huomiokykyä, käsitteellistä ajattelua, muistia, tunteita sekä liikkeitä [20]. On siis vaikea testata vain yhtä tiettyä kognition osa-aluetta.

Eräässä tutkimuksessa havaittiin kirurgien leikkausnopeuden ja tarkkuuden parantuneen, kun he saivat valita leikkaussalissa soitettavan taustamusiikin itse [20]. Tutkittava muuttuja oli siis musiikki. On huomioitava, että tutkimuksesta ei ilmene, mikä musiikista tekee suorituskyyä parantavaa.

Helsingin korvainstituutin Jukka Ylikosken mukaan jopa kuuloalueen ulkopuolisilla äänillä voisi olla vaikutusta kognitiiviseen toimintaan: Edistysaskeleet viime vuosien sisäkorvan ja kuulofysiologian tutkimuksessa saattaneet kyseenalaiseksi monet aikaisemmat kannanotot. Erityisesti väite siitä, että (infra)äänen tulee olla kuultavissa, jotta sillä voisi olla vaikutuksia elimistöön eikä siten mahdollisia infraäänivaikutuksia tarvitsisi huomioida riskiarvioinneissa. On esimerkiksi osoitettu, että koe-eläimillä 5 Hz:n taajuinen infraääni annettuna niinkin pienellä kuin 60–65 dB äänenpainetasolla aktivoi kuuloelintä ja erityisesti sen ulompia karvasoluja. Ulkokarvasoluilla, jotka osallistuvat varsinaiseen kuulemisprosessiin vain sekundaarisina vahvistajina, taas on osoitettu olevan aivorungon kuulotumakkeiden kautta laajempi vaikutus keskushermostoon. Lisäksi on osoitettu, että erilaisilla aistimiskynnyksen lähellä, vähän sen alapuolella olevilla ärsykeillä, erityisesti ääniärsykeillä, voi olla merkittäviä vaikutuksia aivojen toimintaan, erityisesti kognitiivisiin funktioihin. [5]

Puhuttaessa äänen subjektiivisesta kokemuksesta on termien käyttö tärkeää. Termi melu tarkoittaa ei haluttua ääntä. Tarkemmin ottaen melu on juuri subjektiivinen kokemus, joka perustuu kuulijan historiaan, toimiin ja tavoitteisiin, psyykkiseen tilaan (kuten väsymys) ja yleisesti yksilön tarpeisiin. Aiheesta löytyy mielenkiintoista tutkimusta esimerkiksi siitä, miten eri ihmiset kokevat äänet. On havaittu, että esimerkiksi koulutustasolla on suora yhteys taustamelun kokemiseen. Matalammin koulutetut sietävät melua paremmin kuin korkeammin koulutetut. Tämä voi selittyä esimerkiksi sillä, että korkeammin koulutetut eivät keskimäärin altistu voimakkailla ääniärsykeille yhtä paljon kuin matalammin koulutetut. Tutkimuksella on jopa osoitettu, että henkilön taustatekijät vaikuttavat joissain tapauksissa äänen ärsyttävänä kokemiseen enemmän kuin äänenpainetaso. [21]

Tässä tutkimuksessa selvitetään äänen vaikutusta kognitiiviseen toimintakykyyn. Tutkija teki oletuksen, että ärsyttävänä koetut äänet voisivat olla myöskin kognitiivista toimintakykyä alentavia ärsykeitä. Muutamien internethakujen jälkeen tutkijan mielenkiinto kohdistui coil whine:ksi kutsuttuun ääneen, joka lähtee tietoteknisistä järjestelmistä esimerkiksi niiden grafiikkakorttien ylikuormitustilanteessa. Korkeataajuisena äänenä ”coil whine” koetaan erittäin epämiellyttävänä. Se voisi olla mielenkiintoinen tutkia myös siitä näkökulmasta, että moniin nykyisistä taistelukentän tehtävistä liittyy tietoteknisten laitteiden käyttöä. Jos tällaista tietoteknistä laitetta käyttävä sotilas altistetaan kyseiselle korkeataajuiselle äänelle, hän ei välttämättä tajua tulleen vaikutetuksi ääniaseella, vaan kuvittelee tietoteknisten laitteidensa inisevän. Tämän oletuksen valossa tutkija päätti valita testien aikana käytettäväksi äänistimulaatioksi jatkuvan ja epäjatkuvan 7000 Hz taajuisen äänen. Koekuuntelun perusteella jo pienillä äänenpaine-tasoilla ääni kuulostaa ärsyttävältä.

Kognitiivisen toimintakyvyn näkökulmasta selvittävänä tutkimuksessa voivat olla ihmisen kognitiivinen kapasiteetti, informaation esitysmuoto tai informaation sisältö [22]. Tämän tutkimuksen näkökulmana on kognitiivinen kapasiteetti.

## 2.7. Kognitiivisen kyvyn mittaaminen

Kognitiotieteessä ihmisen tiedonkäsittelyn uskotaan koostuvan joukosta perusprosesseja, jotka seuraavat toisiaan. Tällaisia perusprosesseja ovat mm. havaitseminen, tarkkaavaisuus, mieltäminen, ajattelu sekä muistitoiminnot. [19]

Aivoissa tapahtuva tapahtumaketju aistihavainnoista päättelyn kautta päätökseen on useissa taistelukentän tehtävissä oltava nopea ja virheetön. Vääristä havainnoista johtuvat virheelliset toimintoketjut johtavat joskus kuolemaan. Tästä esimerkkinä vaikkapa hävittäjälentäjän päätöksentekotilanne, jossa hän saa syötteitä hävittäjän eri järjestelmien kautta visuaalisina symboleina ja samanaikaisesti kuuntelee taistelunjohtajan hänelle antamia ohjeita kypäränsä kuulokkeista. Lisäksi jotkin järjestelmistä voivat antaa vaikkapa varoitusääniä kuulokkeisiin. Tasapaino- ja tuntoaistiensa välityksellä hän saa tietoa lentokoneen kiihtyvyyksistä. Syötteistä muodostuu hänelle tilannekuva, jonka perusteella hän soveltaa aikaisemmin oppimaansa tehokkaista taistelutekniikoista ja ohjaa koneen laukaisupaikkoihin tai väistää uhkia. Monesti kysymys on nopeista päätöksentekotilanteista, joissa vaikkapa hävittäjän omasuojajärjestelmän ilmoitukseen lähestyvistä ohjuksista on reagoitava nopeasti ja oikealla ajoituksella, jotta ohjus voidaan väistää. Aivoissa tapahtuvia kognitiivisia prosesseja on edellä mainitun kaltaisissa reaaliaikaisen tilanteissa mahdotonta tarkastella kokonaisuutena, sillä aivojen toiminta on useissa tutkimuksissa todettu erittäin kompleksiseksi [19, s. 119]. Kuitenkin vaikkapa edellä mainitusta tilanteesta voidaan poimia jokin osa-alue ja tarkastella ihmisen kognitiivista toimintaa sen suhteen.

Hävittäjälentäjälle opetetaan, että tietyn symbolin ilmestyessä tulee tehdä tiettyjä toimenpiteitä. Esimerkiksi lähestyvä ilma-alus, joka ei lähetä omakonetunnuslähettimellä tiettyä omien ilma-alusten kesken sovittua signaalia, koodataan järjestelmien toimesta automaattisesti viholliseksi. Tutkanäytöllä näytettävä symboli tulee olla poikkeava omista lentokoneista, jotta lentäjän havainto ja ymmärrys uhkasta varmistetaan. Tällaista havainnointitoimintaa voidaan hyvin tutkia myös kognitiivisesta näkökulmasta.

Kognitiotieteessä on päätelty, että ihminen saa jatkuvasti niin paljon erilaisia ärsyksiä aistiensa välityksellä, että ihmisen tiedonkäsittelykapasiteetti ei kykene käsittelemään kaikkea. Aivoissa tapahtuu valintaa. Osa aistiärsyksistä havaitaan ja tallennetaan muistiin, mutta osa ei. Sitä, millä perusteella valinta tapahtuu, on tutkittu, mutta tarkkaa vastausta ei tiedetä [19]. Kuitenkin on esitetty teorioita, että ihminen ikään kuin tiedostamattaan suodattaa käsillä olevan tehtävän kannalta turhat aistiärsykkeet pois [23]. Suodatinteorian mukaan valinta tapahtuu ennen ärsykkeen merkityksen selvittämistä. Toisen teorian mukaan joissain tilanteissa valinta tapahtuu vasta ärsykkeen sisällön selvittämisen jälkeen [24]. Tästä on esimerkkinä arkielämän tilanne, jossa intensiiviseen keskusteluun syventynyt ihminen saattaa havahtua kuultuaan oman nimensä lausuttavan jossain muualla, vaikka kaikki muu ulkopuolinen äänimaailma jää rekisteröimättä. Näiden kahden teorian välillä on esitetty muitakin teorioita, mutta täysin selittävää vastausta siihen, millä perusteilla valinnat tapahtuvat, ei tiedetä [19].

On kuitenkin osoitettu, että äkillinen kirkkauden muutos juuri siinä kohtaa näkökenttää, johon ärsyke ilmestyy, on erityisen tehokas huomion sitoja, toisaalta äkilliset voimakkaat äänet hiljaisuuden keskellä tulevat huomioiduksi melko varmasti [25]. Tällaiset äkilliset, tarkkaavaisuuden ulkopuolella olevat aistiärsykkeet käynnistävät refleksiivisen, tahdosta riippumattoman suuntautumismekanismin. Symboliset vihjeet, jotka ohjaavat huomiota näkökentässä, käynnistävät puolestaan tahdonalaisen suuntautumismekanismin. Müller ja Rabbit ovat osoittaneet näiden kahden mekanismin, tahattoman ja tahdonalaisen suuntautumisen, toimivan yhtä aikaa ja niiden vaikuttavan toisiinsa [26]. Kohde havaitaan helposti, jos jokin sen keskeinen piirre eroaa sen taustasta. Tällaisia ns. alkeispiirteitä näköaistin suhteen ovat tutkitusti ainakin väri, koko, kontrasti, kallistuskulma, liikesuunta, nopeus ja stereosyvyys [19, s. 96 - 102]. Hävittäjäalentäjälle näytettävä viholliskoneen symboli tai saapuvan ohjuksen symboli siis tulee olla riittävän poikkeava alkeispiirteitään, jotta se havaitaan ja vastustajaan kyetään vaikuttamaan oikea-aikaisesti. Yleinen tapa on värikoodata viholliset vaikkapa punaisiksi ja omat sinisiksi. Usein kognitiivista toimintaa tutkitaan juuri visuaalisten ärsykkeiden näkökulmasta, sillä onhan näköaistin todettu olevan dominoiva aisti, mutta on huomattavasti vaikeampaa tutkia kaikkien aistien yhteistoiminnassa tapahtuvaa valintaa [19, s. 100].

Tarkkaavaisuuden valikoima havaintojärjestelmän tieto kulkeutuu edelleen kognitiivisen systeemin prosessoitavaksi. Millaisia sitten ovat ne tietoesitykset, joita kognitiivinen systeemi hyödyntää? Mielikuva on hyvä käsite tässä kohtaa. Kognitiivisessa psykologiassa mielikuvat määritellään havainnon kaltaisiksi representaatioiksi, eli toisinnoiksi. Havainnon kaltaisina representaatioina mielikuvat yhdistetään hyvin vahvasti jonkin tietyn havainnon aistipiireihin: näkö-, kuulo-, haju-, maku- tai tuntoaistiin. Farahin mukaan mielikuvat syntyvät osittain samojen hermostollisten mekanismien toiminnan tuloksena kuin havainnot [27; 28]. Havainnonkaltaisuus erottaa mielikuvat muista representaatioista: kielellisestä koodista, temporaalisesta koodista (ajassa eteneviä tapahtumasarjoja) ja propositionaalisesta koodista (esittää kohteen merkityssisällön kielestä ja havainnosta riippumatta). [19, s. 96 - 102]

Aistihavaintojen jälkeen hävittäjäalentäjä siis vertaa saamaansa tietoa muistissaan olevaan mielikuvaan tietystä havainnosta ja päättelee sen merkityksen muistinsa perusteella. Merkityksen päättely on ajattelutyötä. Ajattelutyötä voidaan jaotella kognitiotieteen näkökulmasta ainakin seuraavasti: kategoriointi, päätöksenteko, päättely ja ongelmanratkaisu. [19]

Ajattelututkimuksen keskeisiä kysymyksiä on se, millä perusteella ihminen luokittelee havaitsemansa objektin. Tunnettu ratkaisu on erotteleviin piirteisiin perustuva luokittelu. Tämän ratkaisutavan esitti Aristoteles [19, s. 110]. Tällainen ns. kategorisointi olettaa, että jokaisella oliolla on joku tietyn tyyppisiin muihin olioihin yhdistävä, kategoriaan kuulumisen ratkaiseva piirre tai piirrejoukko. Esimerkiksi ympyrä on tasokuvio, jonka kehän pisteet ovat kaikki yhtä kaukana keskipisteestä. Toisaalta nisäkäs on jälkeläisiään imettämällä ruokkiva eläin. [19]

Ludvig Wittgenstein huomasi, että kaikki käsitteet eivät ole kategorisoitavissa Aristoteleen teorian mukaisesti. Jollain käsitejoukolla ei ole kategorisesti kaikkia yhdistäviä piirteitä, vaan ne punoutuvat toisiinsa köyden säikeiden tavoin. Esimerkiksi käsite ”peli” voi sisältää yleisesti harmittomia leikkejä, vakavammin otettavaa ammattijalkapalloa tai ”likaista” poliittista peliä jne. [29].

Kolmas tärkeä lähestymistapa havaintojen kategorisointiin on ns. teoria-teoria [1]. Tämän mukaan ihmisillä on teorianomaista tietoa todellisuudesta, jota he käyttävät luokitellessaan erilaisia objekteja. Tästä teoriasta esimerkkinä on se seikka, etteivät ihmiset yleensä luokitele valasta kalaksi, vaikka sen prototyyppiset piirteet ovatkin hyvin paljon kalaa muistuttavia. Valaan erottaa kalasta se, että valas on nisäkäs joka imettää poikasiaan, mutta kala ei. Kysymys on silloin puhtaasti kuvan taakse menevästä teoreettisesta piirteestä. [19]

Neljännän teorian mukaan käsitteet, eli sanojen merkitykset, ovat ns. atomisia, eli niillä ei ole lainkaan sisäistä rakennetta [31; 32]. Teorian mukaan merkitykset tai niiden ”teoriat” voivat muuttua käsitteen itsensä muuttumatta. [19]

Hävittäjäalentäjä on nyt siis aistitietojensa valinnan kautta saanut havainnon jostain symbolista. Hän on aikaisemmin kokemansa perusteella päätellyt sen merkitsevän uhkaa. Seuraavaksi hävittäjäalentäjän täytyisi tehdä päätös.

Päätöksentekotilanteet ovat kiinnostavia tutkimuksen kohteita kognitiotieteessä. Päätöksiä tehdessään ihmisen on valittava kahden, tai useamman vaihtoehdon välillä. Päätöksentekoa voidaan tutkia normatiivisesti logiikan ja muun matematiikan välinein, mutta tutkimuksissa on havaittu, etteivät ihmiset aina toimi normatiivisesti järkevimmällä tavalla. Psykologian tutkimuksessa käytetään deskriptiivistä päätöksentekomallia. Se pyrkii kuvaamaan sitä, miten ihmiset todella tekevät päätöksiä. Päätöksentekotilanteessa ihminen joutuu usein pohtimaan usean eri vaihtoehdon seurauksia, joten sen on todettu kuormittavan paljon työmuistia. Vaihtoehdot ovat usein eriarvoisia ja henkilö asettaa ne mielessään edullisuuden mukaan preferenssijärjestykseen. Jos päätös perustuu yhteen ominaisuuteen, päätös on yksiulotteinen. Moniulotteisessa vaihtoehtojen paremmuuteen vaikuttavia ominaisuuksia taas on monta. Huutokaupassa tuote myydään korkeimman tarjouksen perusteella, mutta psykiatrinen diagnoosi määräytyy useista oireista koostuvan oireyhtymän perusteella. Päätöksenteossa ihminen pohtii myös todennäköisyyksiä, sillä usein tiedetyt seuraukset voidaan arvioida tapahtuvaksi vain jollain tietyllä todennäköisyydellä. Päätöksenteosta puhuttaessa yleiskielessä on paljon käytössä myös termi rationaalisuus. Sillä tarkoitetaan sitä, missä määrin päätös noudattaa jotain tiettyä normia, jonka avulla voidaan taata valinnan onnistuneisuus. Päätös on irrationaalinen silloin, kun valitun päätöksen hyöty tiedetään olevan vähäisempi kuin jonkun toisen valinnan. Ihmisen on todettu tekevän päätöksiä usein irrationaalisesti, kun ajatellaan maksimaalista hyötyä. Psykologisesta näkökulmasta ihminen valitseekin usein hyviä päätöksiä maksimaalisten hyötyjen sijaan. [19]

Hävittäjälentäjä siis arvioi todennäköisyyden sille, mitä tapahtuu reagointiensa perusteella eri vaihtoehtoissa. Päätös perustuu aina arvioon hyödyistä ja haitoista.

Edellä mainittujen kappaleiden valossa hävittäjälentäjän toimintaa hävittäjän ohjaamossa reagoitaessa uhkaan voidaan tarkastella ainakin seuraavista näkökulmista: Havainnointi, päättely ja päätöksenteko. Havainnointivirheen, päättelyvirheen tai päätöksentekovirheen seurauksena voi tulla ammutuksi tai ampua kohteen, jota ei olisi pitänyt ampua.



Uusiseelantilaisen Canterburyn yliopiston tutkijaryhmä tutki Kyle M. Wilsonin johdolla virheitä, joiden seurauksena sotilas tulee ampuneeksi oman sotilaan tai siviilin. He rakensivat sisätiloihin tutkimusskenaarion, jossa koehenkilö käyttää lasersäteen lähettävää asetta huoneistossa puhdistukseen sen vihollisista. Saman tutkimuksen toisessa skenaariossa koehenkilö oli paikoillaan ja tähtäsi oviaukkoon, johon ilmestyi henkilöitä. Koehenkilön tuli tunnistaa ilmestynyt henkilö lippalakin asennon perusteella joko omaksi tai viholliseksi. Viholliset tuli ampua ja omat jättää ampumatta. Huoneiston puhdistusskenaariossa tutkijat huomasivat yhteyksiä reagointiajan ja virheiden lukumäärän suhteen siten, että henkilöt jotka reagoivat nopeasti havaitsemiinsa henkilöihin ampumalla, ampuivat myös enemmän omia. Oviaukkoon ilmestyvien kohteiden skenaariossa havaittiin vahva yhteys koehenkilöiden alttiuteen tehdä virheitä matalan tason kognitiivisessa SART (sustained attention to response task) testissä. Koeasetelma oli rakennettu SART testin pohjalta sillä hypoteesilla, että koehenkilöiden alttius ampua oviaukkoon ilmestynyt oma sotilas korreloi SART testissä tehtyjen virheiden määrää. Tutkijat tulivat siihen johtopäätökseen, että SART testi voisi olla hyvä testi mittaamaan koehenkilöiden ampumisen estokontrollia, eli kykyä pidättäytyä ampumisesta, erilaisissa taistelukentän olosuhteissa. [33]

SART testiä on käytetty tutkimaan visuaalisten ärsykkeiden muodossa saapuvan informaation perusteella tehtäviä nopeita valintatilanteita. SART on tietokoneella tehtävä testi, jossa näytölle ilmestyvät numerot 1 - 9 jaetaan niihin, joihin tulee reagoida ja niihin, joihin ei tule reagoida. Niitä, joihin pitää reagoida on enemmän (8kpl) kuin niitä, joihin tulee jättää reagoimatta (1kpl). Testissä numerot ilmestyvät nopeassa rytmissä ja koehenkilön pitää nopeasti havaita numero ja valita oikea toimintamalli: reagointi nappia painamalla tai reagoimattomuus. Testi vaatii todella tarkkaa keskittymistä 4,3 minuutin ajan, sillä numerot ilmestyvät n. 1s välein. Tämä testiasetelma vastaa hyvin myös hävittäjäalentäjän esimerkkitalannettamme, jossa tutkanäytölle saattaa tulla useita erilaisia kohteita nopealla rytmillä. Osaan tulee reagoida välittömästi ja osaan ei saa reagoida. [34]

SART testiä on käytetty kognitiivisen kyvyn mittarina jo useiden vuosikymmenien ajan. Tutkimuksissa on osoitettu, että tiettyjä aivojen vammoja tai sairauksia voidaan löytää ja tutkia SART testin tuloksia analysoimalla. Testillä voidaan tutkia esimerkiksi henkilöiden kognitiiviseen toimintaan liittyviä häiriöitä, kuten narkolepsiaa [35].

Toisaalta SART testiä voidaan käyttää mittaamaan täysin terveiden ihmisten toimintaa. SART testin tulosten on todettu korreloivan koehenkilöiden itse ilmoittamaansa alttiuteen tehdä valintavirheitä jokapäiväisissä arkiaskareissaan. Eräässä tutkimuksessa selvitettiin koehenkilöiden SART testin tulosten lisäksi mm. henkilöiden itse ilmoittamien valintavirheiden määrä arkielämässä ja koehenkilöiden läheisten raportoima virheiden määrä. Tutkimuksessa havaittiin tilastollisesti erittäin merkittäviä yhteyksiä itse raportoitujen arkielämän virheiden ja SART testin virheiden välillä. Toisin sanoen henkilöt, jotka tekivät SART testissä paljon virheitä, ilmoittivat myös tekevänsä arkielämässään paljon SART testin virheiden kaltaisia nopeita valintavirheitä tai ”lipsahduksia”. [36]

Tässä tutkimuksessa tutkija päätti käyttää SART testiä testaamaan havainnointia ja matalan tason päättelyprosessia osana kognitiivisen kyvyn testaamisen kokonaisuuttaan juuri siitä syystä, että sen on todettu korreloivan omien ampumista taistelutilanteissa, joissa vihollisia on suhteessa huomattavasti enemmän kuin omia. Mikäli testissä havaitaan virheiden määrän kasvua äänihäirinnän vaikutuksesta, voidaan johtopäätöksissä todeta äänellä olevan vaikutusta kognitiiviseen toimintakykyyn, mutta myös alttiuteen ampua omia taistelukentällä.

SART testi ei kuitenkaan vaadi monimutkaista päättelyä, vaan se on lähinnä tarkkaavaisuutta ja nopeaa, yksinkertaista päätöksentekoa mittaava matalan tason kognitiivinen testi. Äänellä voisi olla häiritsevää vaikutusta myös hieman monimutkaisempaan päättelyyn

Kuten tässä luvussa aiemmin on todettu, ajattelutyötä voidaan ajatella olevan ainakin kategoriointi, päätöksenteko, päättely ja ongelmanratkaisu. Näistä kolme ensimmäistä tulevat hyvin testatuksi SART testillä. Viimeisimpänä oleva ongelmanratkaisu jää vähemmälle tarkastelulle. Baddeley on kehittänyt kolmen minuutin kielellisen päättelytehtävän jo vuonna 1968. Siinä testataan lauseen ymmärtämistä, joka vaatii hieman monimutkaisempaa ongelmanratkaisua kuin SART. Lauseiden syntaktinen monimutkaisuus vaihtelee helpoista lauseista monimutkaisiin. Testi on lyhyt, helppo järjestää, reliaabeli ja herkkä monille ulkoisille ärsykeille. Baddeleyn testi on myös herkkä siinä mielessä, että siinä tulos määräytyy oikein vastausten lukumäärän mukaan kolmessa minuutissa. Koehenkilöt koittavat ponnistella aikaa vastaan. Testin suoritusarvojen on myös todettu korreloivan Iso-Britannian armeijan kielellisen älykkyystason testin tulosten kanssa. [7]

Jotta kognitiivinen toimintakyky tulisi tarpeeksi monipuolisesti testattua, niin tähän tutkimukseen päätettiin valita SART testi ja Baddeleyn kolmen minuutin kielellinen päättelytehtävä (myöh. Päättelytehtävä).

## 2.8. Yhteenveto

Ääni on aaltoliikettä, joka välittäjäaineessa, kuten ilmassa edetessään ilmenee säännöllisinä painevaihteluina vallitsevasta ilmanpaineesta. Ihmisen kuuloaistin kannalta äänen tärkeimpiä ominaisuuksia ovat taajuus ja voimakkuus.

Äänen taajuus määritetään kokonaisten aaltojen lukumääränä aikayksikössä  $1/s = \text{Hz}$ . Taajuuden tunnus on  $f$ . Ihminen pystyy saamaan kuuloaistimuksia suurin piirtein 20Hz - 20 000Hz taajuuksilta. Taajuudeltaan alle 20Hz ääniä kutsutaan infraääniksi ja yli 20 000Hz ääniä ultraääniksi.

Voimakkuuden määrittäminen on monimutkaisempaa. Ääni ilmenee säännöllisenä painevaihteluna staattisessa ilmanpaineessa. Amplitudi tarkoittaa painevaihtelun maksimaalista eroa positiiviseen tai negatiiviseen suuntaan vallitsevasta ilmanpaineesta. Äänen voimakkuudesta puhuttaessa amplitudin sijaan on tavallisempaa käyttää logaritmista desibeliasteikkoa. Tällöin puhutaan äänenpainetasosta SPL (sound pressure level), joka on ihmisen kuulokynnykseen suhteutettu äänenpaineen arvo. Ihminen kuulee pienimmillään  $n.20\mu\text{Pa}$  painevaihtelun 1000Hz taajuudella. Tämä arvo on desibeliasteikon vertailuarvo, eli kuulokynnys. Äänenpainetaso määritellään seuraavasti:

$$L_p = 20 \log_{10} \left( \frac{p}{p_0} \right) \text{dB, jossa:}$$

$L_p$  = äänen painetaso

$p$  = äänenpaine

$p_0$  = vertailutaso =  $20\mu\text{Pa}$

Kuulokynnys on 0 dB SPL. Ihmisen kuuloaisti on eri taajuusalueilla erilainen. Herkimmin ihminen aistii puhetaajuuksia 1000 Hz - 10kHz. Mitä korkeammaksi tai matalammaksi äänen taajuus muuttuu, sitä voimakkaampi sen pitää olla, jotta ihminen voi sen kuulla. Lähes samalla tavalla taajuuteen perustuen käyttäytyvät voimakkuudet tilapäiselle tai pysyvälle kuulon menetykselle. Tätä taajuuksien erilaista aistimista helpottamaan on laadittu äänekkyyssasteikko. Äänekkyyssasteikko on psykoakustiikkaa ja sen viivasto tarkoittaa niitä eritaajuisia ääniä, jotka ihminen keskimäärin ymmärtää yhtä voimakkaina. Äänekkyyden yksikkö on fooni. Fooniasasteikko kohtaa äänenpainetason 1000Hz taajuudella.

Äänen kulkeutuessa ihmisen korvaan, korvakäytävän kautta välikorvaan, se vaikuttaa kuuloluiden välityksellä sisäkorvan nesteeseen. Sisäkorvanesteen välityksellä värähtely muuntuu simpukan kuulokarvoissa sähkösignaaleiksi. Sähkösignaalit etenevät hermoja pitkin aivoihin, joissa ne tulkitaan. Tätä vaikutusmekanismia kutsutaan auditiiviseksi mekanismiksi.

Äänillä on vaikutuksia ihmiseen myös kuulomekanismin ulkopuolella eli ns. ei auditiivisia vaikutuksia. Sisäkorvanesteessä sijaitsevat myös tärkeät tasapainoelimet. Voimakkaat värähtelyt voivat aiheuttaa sisäkorvanesteeseen häiriötilan, Hydropsin. Hydrops tilassa sisäkorvan mekaniemit eivät toimi oikein ja se aiheuttaa monenlaisia haitallisia oireita, kuten vaikkapa tinnitus.

Äänellä on tutkitusti vaikutuksia aivokuoren kautta aivojen moniin eri osa-alueisiin. Esimerkiksi erilaisten rytmisten äänten on tutkittu aktivoivan motorista hermostoa ohjaavia aivonosia. Tämä esimerkki osoittaa äänillä olevan muitakin vaikutuksia, kuin kuuloaistimukset.

Äänellä on ihmiseen monia vaikutuksia, joista iso osa on varmasti edelleen tutkimatta. Ihmisen kuuloaisti on herkkä ja sitä on helppo vaurioittaa kovilla äänillä. Pitkäkestoisina annoksia melulla on ihmiseen monia välillisesti haitallisia vaikutuksia, kuten unettomuus tai stressitason nousu. Viime aikoina tehtyjen eläinkokeiden perusteella voidaan olettaa, että jopa kuuloalueen ulkopuolisilla äänillä voidaan vaikuttaa laajemmin keskushermoston toimintaan. Näiden ei-auditiivisten vaikutusten tutkimus on vielä alkutekijöissään.

Äänellä voidaan vaikuttaa ihmiseen auditiivisia kanavia pitkin. Esimerkiksi äänenpainetasoltaan yli 160dB ääni rikkoo ihmisen tärykalvon, ja siten ihmiselle on saatu aikaan pysyvä kuulonmenetys.

Ääntä voi tuottaa erilaisten kaiutinjärjestelmien kautta tai vaikkapa elektronisen sodankäynnin keinoin suoraan eri toimijoiden kuulokkeisiin. Tällä tutkimuksella halutaan selvittää miten tietynlainen taustäääni vaikuttaa objektiivisesti ja subjektiivisesti mitattuun kognitiiviseen toimintakykyyn.

Kognitiivinen toimintakyky voidaan määritellä kykynä vastaanottaa-, käsitellä- ja luoda tietoa. Ihmisen aistit vastaanottavat jatkuvasti niin valtavan määrän ärsykeitä, etteivät aivot kykene käsittelemään kaikkea. Aivoissa tapahtuu siis valintaa siitä, mikä aistidata otetaan tarkempaan käsittelyyn, eli huomioidaan. Valintaa tapahtuu tutkitusti sekä tiedostamattomasti, että tiedostetusti. Tiedostamattomasti havaitaan helposti äkilliset muutokset taustasta. Symbolit taas ovat hyviä kiinnittämään tiedostettua huomiota puoleensa. Kun havaintojärjestelmä on valinnut jonkin kohteen huomioitavaksi, sen merkitys selvitetään muistin kautta. Ihminen vertaa havaintoaan muistissaan oleviin mielikuviiin. Tutkimukset ovat osoittaneet, että ajattelussa mielikuvien luominen tapahtuu samoja hermostollisia osa-alueita käyttäen kuin varsinaiset aistihavainnotkin.

SART testi mittaa matalan tason kognitiivista toimintakykyä. Siinä käytetään visuaalista tarkkaavaisuutta nopeasti ilmestyvien numeroiden havainnointiin. Testissä päättely perustuu mielikuvan ja havainnon vertaamiseen, jonka jälkeen tehdään yksiulotteinen päätös, paina nappia tai älä paina (vrt. ammu tai ole ampumatta). Testi vaatii todella tarkkaa keskittymistä, sillä numerot ilmestyvät nopeassa rytmissä ja vastaus tulee antaa mahdollisimman nopeasti. Testi on kognitiivisilta ominaisuuksiltaan sopiva tämän tutkimuksen viitekehykseen. Taistelukentällä tilanteet etenevät usein nopeasti. Monet tehtävät vaativat tarkkaa havainnointia ja keskittymistä. SART testin tulosten on todettu korreloivan sisätiloissa järjestettyyn taisteluskenaariota vastaavaan koeasetelmaan, jossa koehenkilöt tunnistivat nopeasti henkilöitä omiksi tai vihollisiksi ja ampuivat lasersäteen lähettävällä aseella. Ampumisesta pidättäytymistä voidaan tutkia SART testillä. Tässä tutkimuksessa päätettiin käyttää SART testiä.

Toinen tähän tutkimukseen valittu kognitiivinen testi on Baddeleyn kolmen minuutin kielellinen päättelytesti. Päättelytesti mittaa erilaisia kognitiivisia prosesseja kuin SART.

### 3. Tutkimuksen tavoitteet ja hypoteesit

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää äänihäirinnän vaikutukset tutkimukseen osallistuvien nuorten sotilaiden kognitiiviseen toimintakykyyn ja subjektiivisiin tuntemuksiin. Tutkimus toteutetaan kokeellisella asetelmalla, jossa koehenkilöt laitetaan tekemään samat kognitiiviset testit kaikissa kolmessa eri tutkimukseen valitussa ääniympäristössä. Tutkimustulokset jaotellaan ääniympäristön perusteella ryhmiin, joita vertailemalla voidaan testata hypoteesien paikkaansa pitävyyttä.

Oikeustieteessä pätee periaate, että epäilty on syytön, kunnes toisin todistetaan. Määrällisessä tutkimuksessa pätee sama käytäntö siinä mielessä, että tutkimuksen todistusaineiston, eli tutkimustulosten, tulee osoittaa nollahypoteesin paikkaansa pitämättömyys riittävällä todennäköisyydellä, jotta voidaan todeta väitetyn vaihtoehtoisen hypoteesin pitävän mahdollisesti paikkaansa [37]. Yleisesti käytettävä 95% varmuus on rajana myös tämän tutkimuksen tuloksia analysoitaessa.

Aikaisempiin tutkimuksiin tehdyn katsauksen perusteella tutkija olettaa, että äänihäirinnällä on vaikutuksia johonkin tutkimuksessa käytettävistä kognitiivisista mittareista. Vahvinta näyttöä äänen vaikutuksista oli epäjatkuvan äänen vaikutuksista kognitiiviseen toimintakykyyn [5; 7]. Tämä tutkimusasetelma ei kuitenkaan kerro aukotonta vastausta äänihäirinnän vaikutuksista, vaan rajautuu käytettävän äänen perusteella pelkästään 7000Hz jatkuvaan ja epäjatkuvaan, äänenpainetasoltaan n.60dB SPL ääneen. Äänihäirintää voi toteuttaa muunkinlaisilla äänillä. Tulosten yleistettävyyttä pohditaan luvussa 7. Tämän tutkimuksen nollahypoteesi on:

$H_0$  = Äänihäirinnällä ei ole vaikutuksia tutkimuksessa käytettävien kognitiivisten mittareiden tuloksiin eikä koehenkilöiden subjektiivisiin kokemuksiin.

Vaihtoehtoiset hypoteesit ovat:

$H_1$  = Häirittyjen testien tulokset ovat tilastollisesti poikkeavat häiritsemättömien testien tuloksista. Epäjatkuvan äänen kanssa tehdyistä testeistä suoriudutaan kaikkein heikoimmin ja ilman ääntä tehdyistä testeistä kaikkein parhaiten.

$H_2$  = Äänihäirityt testit koetaan kuormittavampana, kuin testit ilman ääntä. Kaikkein kuormittavampana koetaan epäjatkuvan äänen kanssa tehdyt testit.

$H_3$  = Äänistimuloidut testit koetaan epämiellyttävämpänä, kuin testit ilman ääntä. Kaikkein epämiellyttävämpänä koetaan epäjatkuvan äänen kanssa tehdyt testit.

$H_4$  = Äänistimuloidut testit koetaan aktivoivampana, kuin testit ilman ääntä. Kaikkein aktivoivampana koetaan epäjatkuvan äänen kanssa tehdyt testit.

## 4. Tutkimusmenetelmät

Tässä luvussa kuvataan tutkimuksen mittauskäytännöt ja perustellaan käytettävät mittarit. Tämän luvun tarkoituksena on luoda tutkimukselle reliabiliteetti ja mahdollistaa tutkimuksen toistettavuus. Tämä alaluku ei vastaa suoranaisesti mihinkään alatutkimuskysymykseen, vaan tarkoituksena on muodostaa luvussa 4 esiteltävien mittaustulosten perusteet ja dokumentoida mitausprosessi.

### 4.1. Koehenkilöt

Testiin osallistui 23 koehenkilöä. Kaikki olivat miehiä. Koehenkilöiden ikä vaihteli 20 ja 32 vuoden välillä keski-ikä ollessa 24,6.

### 4.2. Kognitiiviset testit ja subjektiiviset arvioinnit

Tähän tutkimukseen valikoitui kaksi laajasti käytössä olevaa yksinkertaista testiä: SART ja Baddeleyn kolmen minuutin kielellinen päättelytesti, joilla testataan kognitiivista toimintakykyä. Testit valittiin keskenään mahdollisimman erilaiseksi, jotta äänen vaikutuksien ilmene- mistä voitaisiin parantaa. Testien valinnan perusteella testattavia kognitiivisen toimintakyvyn osa-alueita ovat keskittymisen-, tarkkaavaisuuden-, ongelmien ratkaisun-, ja toiminnanohjauksen osa-alueet [7; 33; 36; 38].

SART testi on kehitetty mittaamaan keskittymiskykyä ja reaktionopeutta. Testi on tietokoneelle tai mobiililaitteelle asennettava sovellus, jossa valkoiselle taustalle ilmestyy numeroita väliltä 1-9 yksi kerrallaan. Testattavan on painettava näppäintä, jos numero ei ole 3. Jos taas numero on kolme, niin testattavan tulee olla reagoimatta. Numeroita ilmestyy 1,15s välein satunnaisessa järjestyksessä. Numero on 250ms näkyvässä, jonka jälkeen numero häviää ja testattavalla on vielä 900ms aikaa reagoida mahdollisimman nopeasti. Testattavien tulee reagoida mahdollisimman nopeasti numeron ilmestyttyä ja välttää reagoiteja numeron kolme ilmestyessä mahdollisimman hyvin. Jokainen numero ilmestyy 25 kertaa, joten numeroita ilmestyy yhteensä 225. Testi kestää 4,3min. [34]

SART testissä siis tulee GO ärsykeitä (numerot 1-9 pl. 3) joihin tulee reagoida ja NOGO ärsykeitä (numero 3), joihin ei tule reagoida. NOGO ärsykkeiden suhde kaikkiin ärsykkeisiin on  $25 / 225 = 11\%$ . Testistä tallentuu NOGO virheiden lukumäärä (reagoitu numeroon 3) ja GO virheiden lukumäärä (ei reagoitu numeroihin 1-9 pl. 3) sekä keskimääräinen reaktionopeus GO ärsykkeisiin. Kaikki nämä tiedot tallennetaan testilaitteiden testilokiin, josta ne ovat poimittavissa analyysiä varten. [34]

Baddeleyn kielellisessä päättelytehtävässä tehtävänanto on yksinkertainen. Tehtävänä on vastata mahdollisimman moneen väittämään oikein kolmessa minuutissa. Ruutuun ilmestyy kielellisiä väittämiä, joihin vastataan kosketusnäytön painikkeilla oikein tai väärin. Vastaamisen jälkeen näyttöön ilmestyy välittömästi uusi väittämä. Väitteissä väitetään kirjaimien A ja B järjestyksestä. Väitteen perään on laitettu kirjaimet A ja B, kumpaan tahansa järjestykseen, joko AB tai BA. Kirjainparin perusteella tarkastetaan väitteen paikkansapitävyys ja vastataan kosketusnäytön oikein tai väärin painikkeella. Väitteet sisältävät kuusi erilaista binäärimuuttujaa: (1) positiivinen tai negatiivinen, (2) aktiivi tai passiivi, (3) oikein tai väärin, (4) edeltää tai seuraa, (5) A tai B mainittu ensin, (6) kirjainpari AB tai BA. Vaihtoehtoisia väittämiä on  $2^6 = 64$ . Esimerkkejä on taulukossa 2. Testilaitteiden lokiin tallentuu oikein vastattujen väittämien lukumäärä. [7]

Taulukko 2. Päättelytehtävän esimerkkiväittämiä

Väite	Kirjainpari	Oikein	Väärin
<b>A edeltää B:tä.</b>	AB	<b>x</b>	
<b>B ei seuraa A:ta.</b>	AB		<b>x</b>
<b>A ei edellä B:tä.</b>	BA	<b>x</b>	
<b>B:tä seuraa A</b>	BA	<b>x</b>	
<b>A seuraa B:tä</b>	AB		<b>x</b>

Tämän testin tutkimusasetelman perusteella koehenkilö käyttää lukemista, työmuistia ja loogista päättelykykyä vastatessaan väitteisiin. Voisi olettaa, että kielellinen päättelytehtävä häiriintyisi merkittävästi, jos tehtävään vastaamisen aikana koehenkilölle lueteltaisiin kirjaimia A ja B satunnaisessa järjestyksessä. Toinen hypoteesi voisi olla, että satunnaista puhetta kuuluisi kuulokkeista. Tässä tutkimusasetelmassa halutaan kuitenkin selvittää vain yksinkertaisen sini-aaltomuotoisen äänisignaalin vaikutuksia kielellisen päättelytehtävän tuloksiin.

Edellä mainittujen kahden kognitiivisen testin lisäksi koehenkilöiltä kysyttiin subjektiivisesta kuormituksesta. Subjektiivisessa arviointimenetelmässä henkilö arvioi omaa kognitiivisen kuormituksen tasoa tehtävän suorittamisen aikana tai välittömästi tehtävän suorittamisen jälkeen [39]. Subjektiiviset menetelmät antavat tietoa koehenkilön tuntemuksista kognitiivisen kuormituksen alaisuudessa. Tutkimusten mukaan koehenkilön subjektiiviset tuntemukset muuttuvat kognitiivisen kuormituksen tason muuttuessa [39; 40].

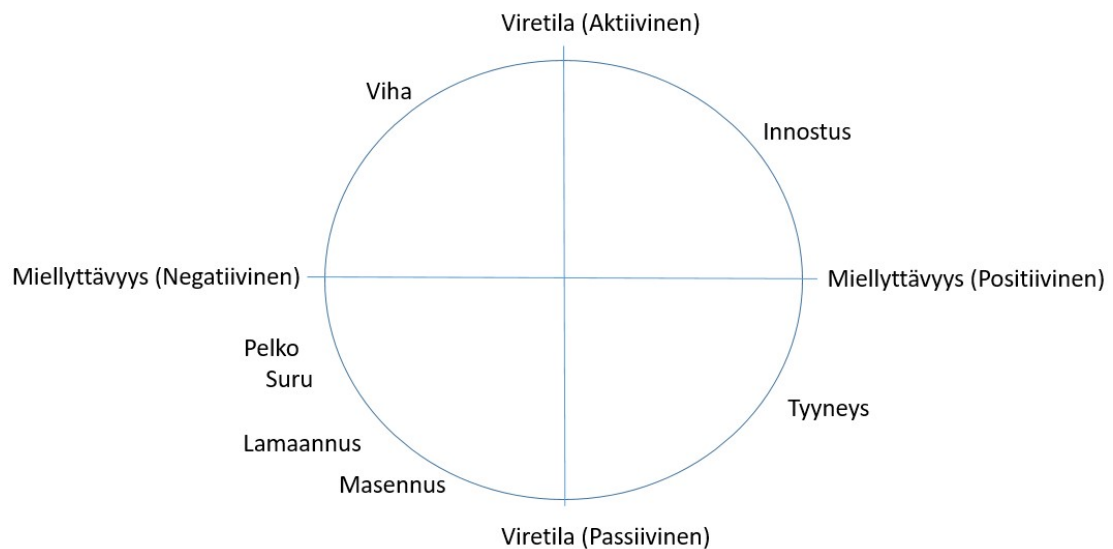
Tässä tutkimuksessa subjektiivista kuormitusta mittaamaan käytettiin NASA-TLX (NASA task load index) mittaria sekä tunnetilaa mittaavaa kyselyä.



NASA-TLX -mittaria on käytetty sadoissa tutkimuksissa sekä laboratorio- että kenttäympäristöissä [2]. NASA-TLX on NASAN lanseeraama moniulotteinen mittari, jolla kokonaiskuormitusta mitataan kuuden ulottuvuuden avulla asteikolla 1–10 [3]. Tässä tutkimuksessa asteikon herkkyyttä lisättiin siten, että vastaukset saivat arvoja väliltä 1 - 20. NASA-TLX -mittarin ulottuvuuksia ovat henkinen, fyysinen ja ajallinen vaatimustaso sekä suoritustaso, ponnistelu ja turhautuminen. Henkisellä vaatimustasolla kysytään, kuinka paljon tehtävän suorittaminen vaatii esimerkiksi päätöksentekoa, ajattelua, etsimistä, muistamista sekä laskemista. Fyysisellä vaatimustasolla kysytään, kuinka paljon tehtävän suorittaminen vaatii esimerkiksi näppäimien painamista. Ajallisella vaatimustasolla mitataan millaista aikapainetta tehtävän suorittaminen aiheuttaa. Suoritustasolla mitataan, kuinka hyvin operaattori onnistuu tehtävän suorittamisessa. Ponnistelulla mitataan, kuinka paljon operaattorin täytyy ponnistella saavuttaakseen suoritustason. Turhautumisella mitataan, kuinka paljon operaattori tuntee esimerkiksi epävarmuutta, lannistumista sekä ärtymystä tehtävän suorittamisen aikana. [41]

NASA-TLX -mittarin kokonaiskuormituksen taso voidaan laskea kahdella tavalla [3]: Painotettu laskenta tai raaka laskenta. Painotetussa laskennassa ulottuvuuksien havaintoarvot voidaan painottaa omilla painokertoimillaan, jonka jälkeen tulot summataan yhteen ja summa jaetaan luvulla 15. Toisena vaihtoehtona on yksinkertaisempi, ns. raaka-TLX -laskenta, jossa ulottuvuuksien havaintoarvot lasketaan yhteen. Tutkimukset eivät ole selkeästi osoittaneet, kumpi laskentatapa antaa luotettavampia tuloksia kokonaiskuormituksen tasosta [39]. Tässä tutkimuksessa kokonaiskuormitus laskettiin Raaka-TLX -laskennan mukaisesti. Tutkimusten perusteella NASA-TLX on validiteetiltaan hyvä mittari [40; 41]. NASA-TLX -mittarin kyselylomake on liitteessä 1.

NASA- TLX kuormitusmittarin lisäksi haluttiin selvittää, miten koehenkilöt arvioivat tunteitaan testien aikana. James Russell on kehittänyt tunteita jaottelevan kaksi akselisen kehämallin, jossa kaikki tunteet voidaan jaotella kahden akselin suhteen. Akselit ovat aktiivisuus (arousal) ja miellyttävyys (valence). Kuvassa 4 on kuvattu Russellin kehämallin mukaista tunteiden jaottelua. Tunteet ovat kuvassa esimerkkinä, jotta kehämallin periaatteen ymmärtää paremmin. Tutkimuksessa haluttiin selvittää kehämallin mukaisesti viretila ja miellyttävyys eri ääniympäristöissä tehtävien testien aikana. Tunnemittarin kysymykset on esitetty liitteessä 2. [42]



Kuva 4. Tunteiden kehämalli Russellia mukaillen.

#### 4.3. Koeasetelma ja käytännön järjestelyt

Tutkimuksen perusjoukkona olivat normaalin kuuloaistin omaavat, nuoret sotilaat. Otantamenetelmänä käytettiin ryväsotantaa maanpuolustuskorkeakoululla olevista opiskelijoista sekä Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen henkilöstöstä ja varusmiehistä. Koehenkilöitä lähestyttiin henkilökohtaisella kontaktilla, jolloin henkilöt ilmoittivat mahdollisesta halukkuudestaan osallistua tutkimukseen. Tutkimukseen osallistuminen perustui vapaaehtoisuuteen ja koehenkilöille ei maksettu osallistumisesta.

Testit järjestettiin Maanpuolustuskorkeakoulun sekä Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen tiloissa. Testitilaisuuksia oli yhteensä neljä. Jokaisessa testitilaisuudessa ympäristön vaikutus testitulokseen minimoitiin: Testit järjestettiin luokkaolosuhteissa, tai niitä vastaavissa olosuhteissa. Valaistus oli koko testin ajan sama ja ääniympäristö oli hiljainen. Koehenkilön suoritettua kaikki testit, häntä pyydettiin olemaan hiljaa paikallaan, kunnes kaikki olivat tehneet testit ja vasta valvojan annettua luvan, voitiin keskustella. Testit voitiin järjestää neljällä otantakeralla siitä syystä, että jokainen testihenkilö teki sekä äänihäirityt testikerrat että kontrollitestit (ei ääntä) peräkkäin. Näin ollen olosuhteista johtuen minkään testiversion aikana tehdyt testit eivät päässeet painottumaan (within subject design). Näin ollen tärkeämpää on, että yhden testitilaisuuden olosuhteet pysyvät koko ajan samana, kuin että eri testitilaisuuksien olosuhteet ovat keskenään samanlaiset.

Testit suoritettiin Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen kognitiivisia mittauksia varten hankkimilla Panasonic kosketusnäyttölaitteilla. Laitteen tiedot on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Testilaitte

Valmistaja	Panasonic
Mallinumero	FZ-G1L2114T3
Proessori	Intel(R) Core™ i5-5300U CPU @ 2.30GHz
Näytönohjain	Intel(R) HD Graphics 5500
Muisti	1: 4096MB DDR3, 2: 4096MB DDR3, 3: 16384KB FLASH
Käyttöjärjestelmä	Win10 pro 64-bit

Käytettyjä testilaitteita oli yhteensä 10 kappaletta. Testilaitteissa käytettiin Inquisit testiohjelmistoa, joka on yleiskäyttöinen testisovellus psykologisten kokeiden ja toimenpiteiden suunnitteluun ja toteutukseen. Inquisit voi suorittaa tietyn komentosarjan paikallisesti Windows PC:llä. Ohjelmistoa käyttämällä koeasetelma on koodattu ja testitilanteessa se myös suoritettiin kyseisellä ohjelmistolla. [43]

Äänen toistamiseen käytettiin Logitech H390 USB kuulokkeita. Kuulokkeiden herkkyys on 94dB (V/Pa) +/- 3dB ja taajuusvaste 20Hz - 20kHz. Äänen voimakkuus säädettiin kosketusnäyttölaitteen win 10 -käyttöjärjestelmän äänenvoimakkuussäätimestä tasoon 50.

Taulukko 4. Testien järjestys

	TESTI 1	TESTI 2	TESTI 3	
Järjestys 1	A	B	C	A = SART ILMAN ÄÄNTÄ B = SART JATKUVAN ÄÄNEN KANSSA C = SART EPÄJATKUVAN ÄÄNEN KANSSA
Järjestys 2	A	C	B	
Järjestys 3	B	A	C	
Järjestys 4	C	A	B	
Järjestys 5	B	C	A	
Järjestys 6	C	B	A	
	TESTI 4	TESTI 5	TESTI 6	
Järjestys 1	D	E	F	D = PÄÄTTELYTEHTÄVÄ ILMAN ÄÄNTÄ E = PÄÄTTELYTEHTÄVÄ JATKUVAN ÄÄNEN KANSSA F = PÄÄTTELYTEHTÄVÄ EPÄJATKUVAN ÄÄNEN KANSSA
Järjestys 2	D	F	E	
Järjestys 3	E	D	F	
Järjestys 4	F	D	E	
Järjestys 5	E	F	D	
Järjestys 6	F	E	D	

Jokainen testihenkilö suoritti yhteensä 6 testiä, joiden järjestykset vaihtelivat taulukon 4 osoittamalla tavalla. Ensin testit 1 -3 suoritettiin arvotussa järjestyksessä 1 - 6. Sitten suoritettiin testit 4 - 6 arvotussa järjestyksessä 1 - 6. Testit suoritettiin peräkkäin. Testien järjestys arvottiin jokaiselle testilaitteelle erikseen.

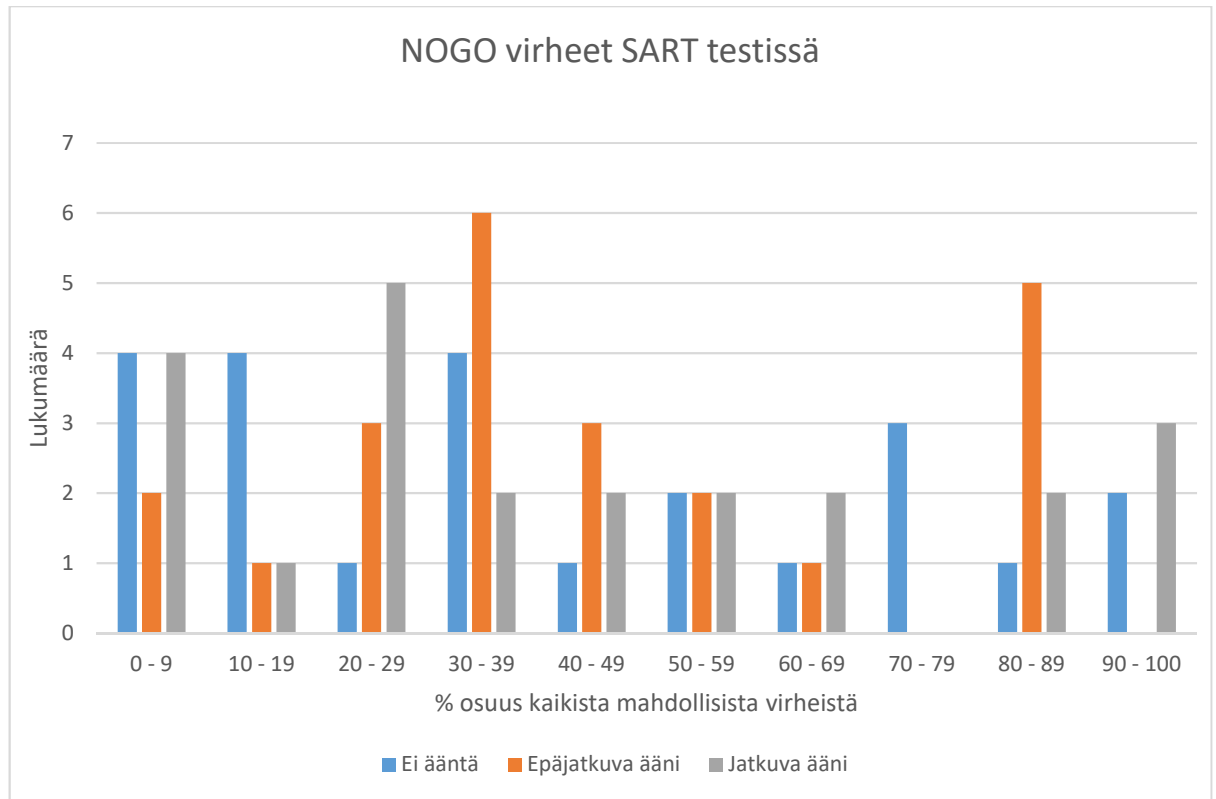
Testihenkilöt tekivät SART testin tabletilla kolme kertaa: Yksi suorituskerta tehtiin kuulokkeet päässä ilman ylimääräisiä taustäääniä. Yksi suorituskerta tehtiin kuulokkeet päässä, ja testin ajan kuulokkeisiin toistettiin jatkuvaa siniaaltomuotoista, taajuudeltaan 7000Hz ja äänenpaine-  
tasoltaan arviolta n. 60dB - 70dB SPL ääntä (katso taulukko 1 sivulta 11). Yksi suorituskerta tehtiin kuulokkeet päässä ja testin ajan kuulokkeisiin toistettiin siniaaltomuotoista, taajuudeltaan 7000Hz ja äänenpainetasoltaan arviolta n. 60dB - 70dB SPL epäjatkovaa ääntä. Kaikki SART testin suorituskerrat tehdään arvotussa järjestyksessä. Kaikki SART testin suorituskerrat kestävät yhteensä  $3 * 4,3\text{min} = 10,2\text{min}$ . Lisäksi jokaisen testin jälkeen vastataan subjektiivista kognitiivista kuormitusta mittaavaan kyselyyn.

Testihenkilöt tekivät päättelytehtävän tabletilla kolme kertaa: Yksi suorituskerta tehtiin kuulokkeet päässä ilman ylimääräisiä taustääniä. Yksi suorituskerta tehtiin kuulokkeet päässä, ja testin ajan kuulokkeisiin toistettiin jatkuvaa siniaaltomuotoista, taajuudeltaan 7000Hz ja äänenpainetasoltaan arviolta n. 60dB - 70dB SPL ääntä. Yksi suorituskerta tehtiin kuulokkeet päässä ja testin ajan kuulokkeisiin toistettiin siniaaltomuotoista, taajuudeltaan 7000Hz ja äänenpainetasoltaan arviolta n. 60dB - 70dB SPL epäjatkovaa ääntä. Kaikki päättelytehtävän suorituskerrat tehdään arvotussa järjestyksessä. Kaikki Päättelytehtävän suorituskerrat kestävät yhteensä  $3 * 3\text{min} = 9\text{min}$ . Lisäksi jokaisen testin jälkeen vastataan subjektiivista kognitiivista kuormitusta mittaavaan kyselyyn.

#### 4.4. Aineiston analyysimenetelmä

Tutkimuksessa halutaan tarkastella eroja eri ääniympäristöissä tehtyjen testien tulosten välillä. Perinteinen analyysimenetelmä tällaisessa ns. satunnaisten lohkojen kokeessa on kaksisuuntainen varianssianalyysi. Satunnaiset lohkot ovat saaneet nimityksensä esimerkkitapauksesta, jossa pellon eri lohkoille käytetään eri lannoitteita ja verrataan lannoitteiden vaikutusta viljan/heinän kasvuun. Tällainen koeasetelma pätee tässä tutkimuksessa, sillä eri ääniympäristöissä tehtyjä testejä voidaan verrata peltöjen eri lohkoihin ja eri ääniympäristöjä voidaan verrata eri lannoitteisiin. Kaksisuuntaisen varianssianalyysin ongelmana tässä tapauksessa on se, että se olettaa tutkimustulosten noudattavan normaalijakaumaa. Normaalijakautuneisuus ei yleensä ole ongelma yli 30 koehenkilön otannoissa, mutta alle 30 koehenkilön otannoissa normaalijakautuneisuus tulee tarkastaa ennen analyysin suorittamista. [44]

Normaalijakautuneisuus tarkastettiin laskemalla tiheysfunktiot eri havainnoille ja tarkastelemalla niiden kuvaajia. Kuvassa 5 on esimerkkinä SART testin NOGO virheiden tiheysfunktion kuvaaja jaettuna 10 prosenttiyksikön luokkiin. Kuten kuvaajasta TUU voidaan huomata, ei kuvaajan muoto missään ääniympäristössä noudata Gaussin käyrää.



Kuva 5. NOGO virheet SART testissä

SART testissä yksi tulos on NOGO virheiden lukumäärä. Se ilmoitetaan % kaikista virheistä. Kuvaa 5 luetaan niin, että esimerkiksi virheiden määräksi 0% - 9% saaneita oli ei ääntä tilanteessa 4, epäjatkuvan äänen tilanteessa 1 ja jatkuvan äänen tilanteessa 4.

Kuvaajien perusteella tutkimusaineisto ei ollut normaalijakautunut, joten analyysimenetelmänä ei voitu käyttää kaksisuuntaista varianssianalyysiä. Varianssianalyysin sijaan ei normaalijakautuneille aineistoille voidaan määrittää Friedmanin testisuure ja verrata sitä Khiin neliö-jakaumaan. [45, s. 112 - 124]. Friedmanin testisuure T lasketaan seuraavasti [45, s. 114 - 115]:

$$T = \frac{12}{Nk(k+1)} \sum_{i=1}^k R_j^2 - 3N(k+1), \text{ jossa}$$

N = Koehenkilöiden määrä

k = eri olosuhteiden määrä

$\sum R_j^2$  = vaikutusten eli testin suoritusarvojen neliöiden summa

Friedmanin testisuure  $T$  noudattaa Khiin neliö -jakaumaa vapausastein  $df = k - 1$ , kun pätee nollahypoteesi siitä, että kaikkien eri lohkojen vaikutukset ovat yhtä suuria. Verrattaessa Friedmanin testisuuretta Khiin neliö -jakaumaan, saadaan  $p$  arvo (probability), joka tarkoittaa todennäköisyyttä sille, että nollahypoteesi pitää paikkaansa. Toisin sanottuna mitä pienempi  $p$  arvo vertailusta palautuu, sitä suuremmalla todennäköisyydellä voidaan todeta ääniympäristöjen vaikuttaneen testituloksiin. Tilastollisessa analyysissä käytetään yleisesti 5% merkitsevyystasoa, eli  $p < .050$  voidaan pitää tilastollisesti merkitsevä. Termeinä  $p < .050$  käytetään tilastollisesti melkein merkitsevä,  $p < .010$  käytetään tilastollisesti merkitsevä ja  $p < 0.001$  käytetään tilastollisesti erittäin merkitsevä. [44; 45]

Tutkimuksessa aineisto analysoitiin IBM:n SPSS ohjelmistolla käyttäen Friedmanin testiä analyysimenetelmänä.

#### 4.5. Yhteenveto

Tutkimukseen osallistui 23 koehenkilöä. Koehenkilöt osallistuivat tutkimukseen vapaaehtoisuuteen perustuen. Koehenkilöt olivat Maanpuolustuskorkeakoululla opiskelevia kadetteja ja maisteriopiskelijoita sekä Puolustusvoimien tutkimuslaitoksella palvelevia varusmiehiä. Koehenkilöt olivat kaikki miespuolisia ja heidän ikänsä vaihteli 20 - 32 vuoden välillä keski-ikä ollessa 24,6 vuotta.

Testien suorittamiseen käytettiin 10kpl Panasonic FZ-G1L2114T3 tablettitietokoneita, joihin oli asennettu Millisecond Technologies korporaation valmistama Inquisit -testiohjelmisto. Testin aikana tablettitietokoneeseen oli kytketty näppäimistö ja kuulokkeet. Tutkimukset suoritettiin luokkaolosuhteissa Maanpuolustuskorkeakoululla sekä Puolustusvoimien tutkimuslaitoksella. Yksi testihenkilö suoritti kaikki testit yhden testitapahtuman aikana siten, että huolehdittiin valaistus-, lämpö- ja taustääniolosuhteiden muuttumattomuudesta koko testitapahtuman ajan. Koehenkilöt asetettiin istumaan tuoleihin etäälle toisistaan, jottei huomio herpaantuisi toisen koehenkilön toimesta. Koehenkilöille annettiin ohjeet testien suorittamisesta ennen testien aloittamista sekä kirjallisena, että suullisesti. Kuva tutkimuksen käytännönjärjestelyistä on liitteessä 3. Yksi testitapahtuma kesti yhteensä noin 45 minuuttia.

Tutkimusasetelma oli rakennettu kahden kognitiivista kykyä mittaavan testin (SART testin ja Päätteilytehtävän) sekä subjektiivista kuormitusta mittaavien NASA-TLX kyselyn ja dimensio-naalisen tunnemittarin ympärille seuraavasti:

Stimulaatioita oli kolme erilaista:

- 1) kuulokkeista toistettuna jatkuva siniaaltomuotoinen 7000Hz n. 60dB SPL ääni
- 2) kuulokkeista toistettuna satunnaistettu epäjatkuva siniaaltomuotoinen 7000Hz n. 60dB SPL ääni
- 3) kuulokkeista ei toistettu mitään ääntä

Koehenkilöt tekivät ensin SART testin kolme kertaa, kerran kunkin stimulaation kanssa. Jokaisen SART testin jälkeen koehenkilöt vastasivat NASA-TLX ja dimensionaalista tunnetta mittaaviin kyselyihin.

SART testien jälkeen koehenkilöt tekivät päättelytehtävän kolme kertaa, myöskin kerran jokaisen stimulaation kanssa. Jokaisen päättelytehtävän jälkeen koehenkilöt vastasivat samoihin NASA-TLX ja dimensionaalista tunnetta mittaavien kyselyjen kysymyksiin.

Yhteensä koehenkilöt suorittivat kuusi kognitiivista testiä ja vastasivat kuuteen subjektiivista kuormittumista mittaavaan kyselyyn. Testeistä tilastoitiin seuraavat tiedot:

SART testi:

1. NOGO virheiden lukumäärä, eli painettu välilyöntiä väärässä kohtaa (ks. luku 3.3)
2. GO virheiden lukumäärä, eli jätetty painamatta väärässä kohtaa. (ks. luku 3.3)
3. Keskimääräinen reagointinopeus GO stimuleihin, eli numeroihin, jolloin tulee painaa välilyöntiä (ks. luku 3.3)

Päättelytehtävästä kerättiin oikein vastausten lukumäärä. (ks. luku 3.3)

NASA-TLX kyselyn kysymykset ovat liitteessä yksi. Kyselyn perusteella tilastoitiin seuraavat subjektiiviset arvot:

1. henkinen vaativuus
2. fyysinen vaativuus
3. ajallinen vaativuus
4. suoritustaso
5. ponnistelu
6. turhautuminen



NASA-TLX kyselyn kysymyksiin vastattiin liukuvalla asteikolla siten, että äärimmäisenä vasemmalla oli vähäisin arvo (1) ja äärimmäisenä oikealla suurin mahdollinen arvo (20). NASA-TLX mittarista laskettiin myös yhteisarvo, joka valittiin laskettavaksi raaka laskenta menetelmällä kaikkien kysymysten arvojen summana.

Dimensionaalisen tunnekyselyn kysymykset ovat liittäessä kaksi. Kyselyn perusteella tilastoitiin seuraavat subjektiivista tunnetta mittaavat arvot:

1. tunnetaso (valenssi) (positiivinen - negatiivinen)
2. viretila (arousal) (passiivinen - aktiivinen)

Dimensionaalisen tunnekyselyn kysymyksiin vastattiin liukuvalla asteikolla samoin kuin NASA-TLX kyselyssä. Vastausasteikolla äärimmäisenä vasemmalla oli vähäisin arvo (1) ja äärimmäisenä oikealla suurin mahdollinen arvo (20).

## 5. Tutkimustulokset

Tässä luvussa esitellään edellisessä luvussa kuvailtujen mittausten tulokset. Tulokset analysoitiin IBM SPSS ohjelmistolla käyttäen ei - parametrista Friedmanin varianssianalyysiä. Yhteen-vetoalaluvussa kootaan yhteen kaikkien mittausten analysoidut tulokset ja mahdollistetaan koottujen johtopäätösten tekeminen luvussa 6.

### 5.1. Tutkimusaineiston tilastolliset tunnusluvut ja kuvaajat

Testit suoritti yhteensä 23 koehenkilöä. Koehenkilöiden ikä vaihteli 20 ja 32 vuoden välillä. Kaikki olivat miehiä keski-ikä ollessa 24,6 -vuotta. Tässä alaluvussa on raportoitu jokaisen mittarin tunnusluvut kolmella eri käsittelykerralla (ei ääntä, epäjatkuva ääni, jatkuva ääni). Taulukossa 5 on SART testin suoritusarvot (virheet ja reaktioajat), subjektiivinen kuormitus (NASA-TLX) sekä subjektiivinen kokemus (miellyttävyys ja viretila). Taulukossa 6 on päättelytehtävän vastaavat tunnusluvut.

Taulukko 5. SART testin tilastolliset tunnusluvut

	N	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Keskihajonta
Ei ääntä NOGO virheet [%]	23	4	92	40,87	29,74
Epäjatkua ääni NOGO virheet [%]	23	0	88	45,22	26,60
Jatkuva ääni NOGO virheet [%]	23	4	96	43,83	30,64
Ei ääntä GO virheet [%]	23	0	18,5	1,04	3,83
Epäjatkua ääni GO virheet [%]	23	0	4	0,65	0,96
Jatkuva ääni GO virheet [%]	23	0	16	1,39	3,62
Ei ääntä keskimääräinen reaktioaika [ms]	23	268,93	675,59	420,30	107,69
Epäjatkua ääni keskimääräinen reaktioaika [ms]	23	274,47	550,59	382,72	88,83
Jatkuva ääni keskimääräinen reaktioaika [ms]	23	272,24	559,11	398,22	91,50
Ei ääntä NASA-TLX summa	23	26	84	57,43	15,88
Epäjatkua ääni NASA-TLX summa	23	20	83	61,04	14,64
Jatkuva ääni NASA-TLX summa	23	20	80	57,87	15,76
Ei ääntä Miellyttävyyys	23	6	20	11,70	3,25
Epäjatkua ääni Miellyttävyyys	23	4	19	10,04	3,76
Jatkuva ääni Miellyttävyyys	23	3	18	10,09	4,04
Ei ääntä Viretila	23	1	16	11,00	3,95
Epäjatkua ääni Viretila	23	2	19	11,13	4,33
Jatkuva ääni Viretila	23	1	19	10,26	4,35

Taulukko 6. Päättelytehtävän tilastolliset tunnusluvut

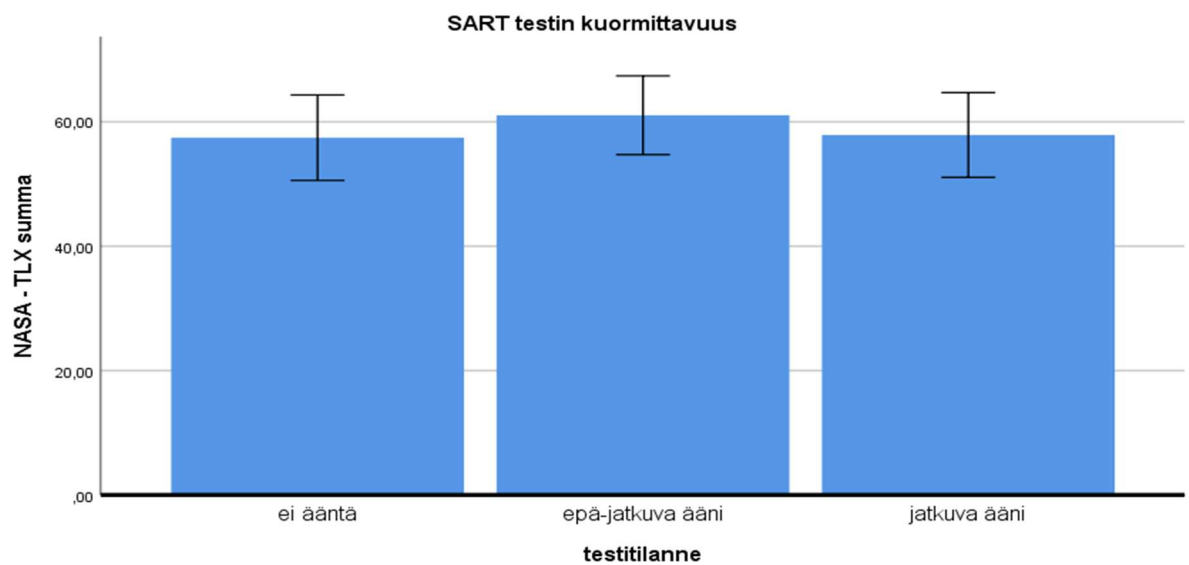
	N	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Keskihajonta
Ei ääntä oikeiden vastausten lkm.	23	8	63	37,09	13,10
Epäjatkua ääni oikeiden vastausten lkm.	23	13	59	36,74	11,74
Jatkuva ääni oikeiden vastausten lkm.	23	16	58	36,65	12,25
Ei ääntä NASA-TLX summa	23	39	77	62,74	10,80
Epäjatkua ääni NASA-TLX summa	23	31	80	63,57	10,74
Jatkuva ääni NASA-TLX summa	23	24	80	63,96	12,29
Ei ääntä Miellyttävyyys	23	6	20	11,09	3,22
Epäjatkua ääni Miellyttävyyys	23	3	15	9,35	3,33
Jatkuva ääni Miellyttävyyys	23	4	16	9,74	3,09
Ei ääntä Viretila	23	1	17	9,83	4,22
Epäjatkua ääni Viretila	23	1	18	11,30	4,51
Jatkuva ääni Viretila	23	1	17	10,48	4,85

## 5.2.Äänen vaikutukset kognitiivisten testien tuloksiin

SPSS:n Friedmanin varianssianalyysi osoitti, että taustaaänellä ei ollut vaikutusta SART testin tai päättelytehtävän suorituksiin. (SART virheiden määrä ja reaktioaika, päättelytehtävän oikeiden vastausten lukumäärä)

### 5.3. Äänen vaikutukset subjektiiviseen kuormitukseen (NASA-TLX)

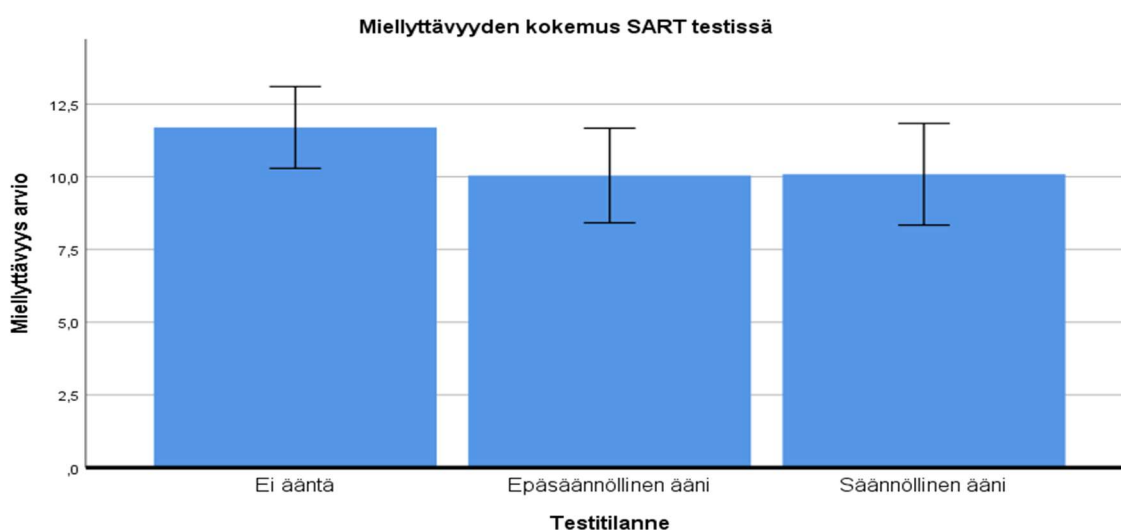
SPSS Friedmanin testi osoitti tilastollisesti melkein merkitsevän eron kolmen testiversion (ei ääntä, jatkuva ääni ja epäjatkuva ääni) välillä ennustettaessa SART testin kuormittavuutta NASA-TLX summalla,  $F(2,23) = 8,44$ ,  $p = .015$ . Kuten kuvassa 6 havainnollistetaan, SART testi epäjatkuvan äänen kanssa ( $M = 61,04$ ) koettiin kuormittavampana, kuin jatkuvan äänen kanssa ( $M = 57,87$ ) tai ilman ääntä ( $M = 57,43$ ). Parivertailu osoitti, että ei ääntä- ja jatkuva ääni -testiversioiden välinen ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä, kun sitä vastoin epäjatkuva ääni -testiversio erosi tilastollisesti melkein merkitsevästi jatkuvan äänen testiversiosta  $p = .030$ .



Kuva 6. SART testin kuormittavuus

#### 5.4.Äänen vaikutukset subjektiiviseen kokemukseen (miellyttävyys ja viretila)

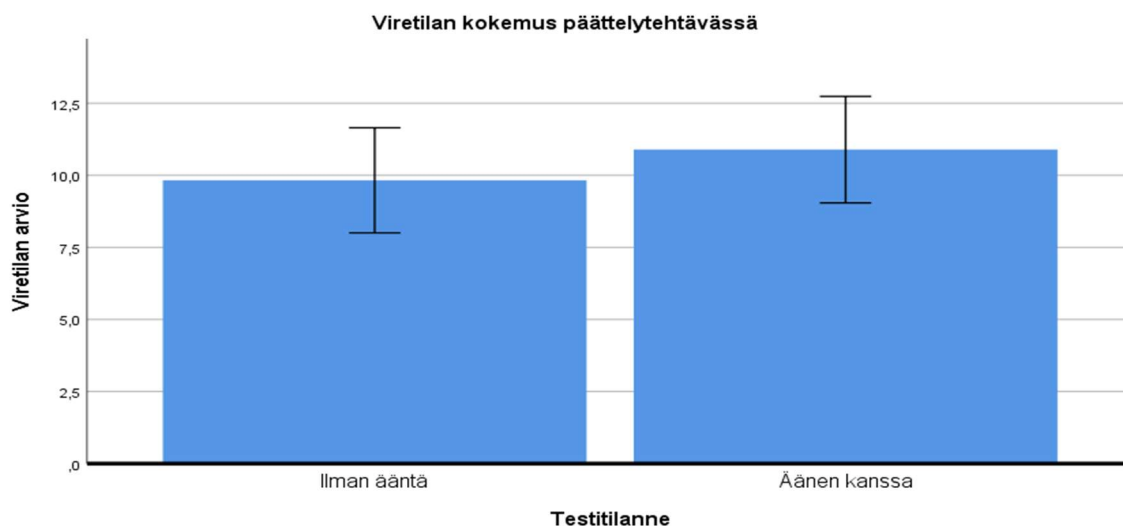
Friedmanin testi osoitti tilastollisesti merkitsevän eron kolmen testiversion (ei ääntä, jatkuva ääni ja epäjatkuva ääni) välisessä miellyttävyyden kokemuksessa SART testin aikana,  $F(2,23) = 10,02$ ,  $p = .007$ . Kuten kuvassa 7 havainnollistetaan, ei ääntä -testitilanne koettiin miellyttävämpänä ( $M = 11,7$ ), kuin jatkuvan- tai epäjatkuvan äänen testitilanne ( $M = 10,09$  ja  $M = 10,09$ ). Parivertailu osoitti että, epäjatkuva ääni vs. jatkuva ääni testitilanne eivät eronneet toisistaan, mutta molemmat erosivat ei ääntä testitilanteesta (ei ääntä vs. jatkuva ääni  $p = .037$ ; ei ääntä vs. epäjatkuva ääni  $p = .015$ )



Kuva 7. Miellyttävyyden kokemus SART testissä

Analyysi osoitti tilastollisesti melkein merkitsevän eron verrattaessa ei-ääntä testitilannetta kahteen muuhun tilanteeseen (ei ääntä vs. ääni) miellyttävyyden kokemuksessa päättelytehtävän aikana,  $F(1,23) = 44,00$ ,  $p = .040$ . Ilman ääntä ( $M = 11,09$ ) päättelytehtävä koettiin miellyttävämmäksi kuin äänen kanssa ( $M = 9,54$ ).

Analyysi osoitti tilastollisesti melkein merkitsevän eron verrattaessa ei-ääntä testitilannetta kah-  
teen muuhun tilanteeseen (ei ääntä vs. ääni) viretilan kokemuksessa päättelytehtävässä,  $F(1,23)$   
 $= 178,00$ ,  $p = .029$ . Kuten kuvassa 8 havainnollistetaan, ilman ääntä ( $M = 9,83$ ) päättelytehtävä  
koettiin vähemmän aktivoivaksi kuin äänen kanssa ( $M = 10,89$ ).



Kuva 8. Viretilan kokemus päättelytehtävässä

## 5.5. Yhteenveto

Tutkimukseen osallistui 23 koehenkilöä. Kaikki olivat nuoria miespuolisia sotilaita, iältään 20 - 32 vuotiaita ( $M = 24,6$ ). SPSS:n Friedmanin kaksisuuntainen varianssianalyysi ei osoittanut tilastollisesti merkittäviä poikkeavuuksia eri ääniympäristöissä tehtyjen testien tulosten välillä.

SPSS:n Friedmanin kaksisuuntaisella varianssianalyysillä havaittiin tilastollisesti merkitseviä eroja subjektiivisilla mittareilla taulukon 7 mukaisesti.

Taulukko 7. Yhteenveto tilastollisesti merkitsevästä tutkimustuloksista

Kysely	Verrattavat testit			F	p
Kuormittavuuden kokemus SART testissä	Ei ääntä M = 57,43 SD = 15,88	Epäjatkuva ääni M = 61,04 SD = 14,64	Jatkuva ääni M = 57,87 SD = 15,76	8,44	.015
Miellyttävyyden kokemus SART testissä	Ei ääntä M = 11,7 SD = 3,25	Epäjatkuva ääni M = 10,04 SD = 3,76	Jatkuva ääni M = 10,09 SD = 4,04	10,02	.007
Miellyttävyyden kokemus päättelytehtävässä	Ei ääntä M = 11,09 SD = 3,22	Äänen kanssa M = 9,54 SD = 3,21		44	.040
Viretilan kokemus päätelytehtävässä	Ei ääntä M = 9,83 SD = 4,22	Äänen kanssa M = 10,89 SD = 4,68		178	.029

Tilastollisesti melkein merkitseviä ( $P < .050$ ) havaintoja oli kolme ja tilastollisesti merkitseviä ( $P < .010$ ) havaintoja yksi. Yhteenvetona voidaan sanoa, että epäjatkuvan äänen vaikutuksessa tehdyt SART testit koettiin kuormittavampana, kuin ilman ääntä tai jatkuvan äänen vaikutuksessa tehdyt testit. Ilman taustääntä tehdyt SART testit koettiin miellyttävämpänä kuin epäjatkuvan- tai jatkuvan taustäänen vaikutuksessa tehdyt. Päättelytehtävä koettiin miellyttävämpänä toteuttaa ilman taustääntä kuin taustäänen kanssa ja taustäänen kanssa tehdyt päättelytehtävät koettiin enemmän aktivoivina kuin ilman taustääntä tehdyt testit.

## 6. Johtopäätökset

Tutkimuksen tarkoituksena oli pohtia äänihäirinnän vaikutuksia nuorten sotilaiden kognitiiviseen toimintakykyyn ja subjektiiviseen kokemukseen. Kognitiivisen kyvyn mittaamista selvitettiin aikaisemmista tutkimuksista ja päädyttiin käyttämään kahta eri testiä. Aikaisempien tutkimusten perusteella koeasetelmaan päätettiin lisätä kognitiivisten testien lisäksi myös subjektiivista kuormitusta ja tunnetilaa mittaavat kyselyt.

Kognitiiviset testit valittiin tyypeiltään erilaiseksi, sillä ihmisen tiedonkäsittely on aikaisempien tutkimusten perusteella jakautunut erityyppisiin osa-alueisiin. SART testillä pyrittiin selvittämään äänihäirinnän vaikutuksia matalan tason päättelyyn nopeissa ammu/älä ammu -tyyppisissä tilanteissa. Tutkijan näkemyksen mukaan SART testi vastaa asettelultaan hyvin monia taistelukentän tilanteita ja se on tutkimuksessa todettu päteväksi mittaamaan eri taistelutilanteiden olosuhteiden kognitiivisia vaikutuksia. Yksi tällainen olosuhde voisi olla äänihäirintä. Toiseksi testiksi valittiin hieman monimutkaisempaa päättelyä vaativa Baddeleyn kielellinen päättelytehtävä. Päättelytehtävä eroaa SART testistä syötteidensä perusteella. SART testin numeroiden tarkkailemisen sijaan päättelytehtävässä koehenkilön pitää lukea ja ymmärtää lyhyt väite sekä päätellä sen perusteella onko yksinkertainen kahden kirjaimen muodostama järjestys oikein vain väärin. Tämä kielellinen päättelytehtävä mittaa luetun ymmärtämistä ja päättelykykyä.

NASA:n lanseeraama subjektiivinen kuormittavuusarviointi NASA-TLX on todettu hyväksi kognitiiviseksi mittariksi myös sotilaallisesta näkökulmasta. Jouni Rapikisto arvioi Gradussaan sen mittaavan hyvin hävittäjälentäjän tuntemusten kuormituksen tasoa erilaisissa aikapainetta sisältävissä tilanteissa. Tässä tutkimuksessa NASA-TLX kyselyllä arvioitiin kuormituksen tunnetta tehtäessä kognitiivisia testejä ilman äänihäirintää ja äänihäirinnän kanssa. Myöskin koehenkilöiden miellyttävyyden ja viretilan tuntemus haluttiin selvittää äänihäirinnän vaikutuksessa. Tunnetilan selvittämiseen käytettiin Russellin kaksiakselista tunnemittaria, joka jaottelee tunteet vireydentilan ja miellyttävyyden suhteen.

Koeasetelman rakentamisessa ongelmallista oli käytettävän äänihäirinnän ominaisuuksien valitseminen. Aikaisempien tutkimusten perusteella valkoisen melun käyttö jatkuvana taustameluna ei anna tuloksia kognitiivisiin mittauksiin. Tutkimuksissa havaintoa on perusteltu sillä, että ihminen adaptoituu ympäristöönsä ja sulkee pois sellaiset aistihavainnot, jotka eivät ole meillä olevan toiminnan kannalta oleellisia. Kuitenkin esimerkiksi epäsäännöllinen melu, musiikki tai epäsäännöllinen puhe on todettu joitain kognitiivisia prosesseja häiritseviksi tekijöiksi. Epäsäännöllisyys ja aistiärsykkeiden äkillinen muuttuminen on todettu hyväksi ärsykeiksi kiinnittämään henkilön huomiota puoleensa.



Tässä tutkimuksessa paitsi kognitiiviset testit, myös ääniärsyke haluttiin sitoa taistelukenttään. Ärsyttävänä koettu korkeataajuinen ”inisevä” ääni, joka lähtee elektroniikkalaitteiden komponenttien värähtelystä niiden kuormittuessa voisi olla sellainen ääni, jota ei välttämättä koeta ulkopuolisen vaikuttamisen välineeksi. Monissa nykyaikaisen taistelukentän tehtävissä sotilaat käyttävät monenlaisia elektronisia laitteita. Tällaisesta elektroniikkalaitteista lähtevästä korkeataajuisesta äänestä käytetään englannin kielistä ilmaisua coil whine. Tutkimuksessa haluttiin selvittää coil whinen mahdollisia vaikutuksia kognitiiviseen toimintakykyyn ja koska se poikkeaa valkoisesta melusta taajuuskaistansa puolesta, niin sitä päätettiin kokeilla jatkuvana äänenä. Aikaisempien tutkimusten havaintojen perusteella haluttiin selvittää myös, miten coil whine vaikuttaa satunnaisena, epäjatkuvana piipityksenä. Coil whine käsitteen perusteella äänihäirinnän ominaisuuksiksi valittiin 7000Hz siniaaltomuotoinen ääni tasaisella n.60 - 70dB äänenpainetasolla.

Tutkimuksen alatutkimuskysymykset olivat:

*Miten ääntä voidaan käyttää häirinnän välineenä?*

*Onko äänihäirinnällä vaikutusta kognitiiviseen toimintakykyyn ja subjektiivisiin kokemuksiin?*

*Vaikuttaako äänen ennakoinnattomuus häirinnän vaikutukseen ja kokemusten voimakkuuteen?*

Tässä tutkimuksessa perehdyttiin äänen fyysisiin ominaisuuksiin ja ihmisen kuuloaistiin. Ääni etenee ilmakehässämme molekyyliden pitkäaikaisena värähtelynä joka vaimenee etäisyyden neliössä. Kognitiivisten vaikutusten aikaansaamiseksi äänen ominaisuuksien pitää olla vielä kohdehenkilön kohdalla riittävän voimakkaita, että ääni erottuu taustastaan ja aiheuttaa kognitiivisia vaikutuksia. Aikaisempien tutkimusten tulosten perusteella ääni vaikuttaa kognitiiviseen toimintaan sitä enemmän, mitä yllättävämpi ja taustastaan poikkeavampi ääni esiintyy. Myöskin tämän tutkimuksen tulokset tukevat näitä aikaisempia johtopäätöksiä. Mikäli äänellä halutaan häiritä ilmarajapinnan välityksellä, niin sen tuottamisessa tarvitaan isoja energiamääriä tai sitten kohteen pitää olla lähellä. Elektronisen sodankäynnin keinoin monen taistelijan kuulokkeisiin voidaan tuottaa ääntä tehokkaammin.

Tutkimuksessa käytetty epäjatkuvan äänen äänihäirintä lisäsi kohdehenkilöiden subjektiivista kuormitusta tehtäessä SART testiä, mutta SART testissä tehtyjen virheiden määrään se ei vaikuttanut. Kuitenkin mm. Jouni Rapikisto on gradussaan todennut subjektiivisen kuormituksen lisääntymisen vaikuttavan myös varsinaiseen suoritukseen. Äänihäirintä koettiin myös vaikuttavan SART testin miellyttävyyteen negatiivisesti. Johtopäätöksenä todetaan, että epäjatkuvalla 7000Hz coil whine äänihäirinnällä on vaikutusta kognitiiviseen toimintakykyyn ja subjektiiviseen kokemukseen.

Tutkimustuloksissa tärkeä löydös oli myös se, kuormituksen tunne tehtäessä SART testiä jatkuvan äänihäirinnän vaikutuksessa ei poikennut tilastollisesti ilman ääntä tehtyjen testien kuormituksesta. Tämä vahvistaa edelleen Baddeleyn ja Broadbent & Gregoryyn havaintoja ihmisen tottumisesta jatkuvaan taustameluun. Johtopäätöksenä todetaan äänen ennakkoimattomuudella olevan merkittävä vaikutus häirinnän vaikutukseen ja kokemuksen voimakkuuteen.

Tämän tutkimuksen nollahypoteesi oli:

$H_0$  = Äänihäirinnällä ei ole vaikutuksia tutkimuksessa käytettävien kognitiivisten mittareiden tuloksiin eikä koehenkilöiden subjektiivisiin kokemuksiin.

**Johtopäätös:** Nollahypoteesi voidaan kumota, sillä äänihäirinnällä oli vaikutusta subjektiivisiin kokemuksiin.

Vaihtoehtoiset hypoteesit olivat:

$H_1$  = Häirittyjen testien tulokset ovat tilastollisesti poikkeavat häiritsemättömien testien tuloksista. Epäjatkuvan äänen kanssa tehdyistä testeistä suoriudutaan kaikkein heikoimmin ja ilman ääntä tehdyistä testeistä kaikkein parhaiten.

**Johtopäätös:** Hypoteesi ei pidä paikkansa. Tutkimus ei antanut näyttöä tämän vaihtoehtoisen hypoteesin paikkaansa pitävyydestä.

$H_2$  = Äänihäirityt testit koetaan kuormittavampana, kuin testit ilman ääntä. Kaikkein kuormittavampana koetaan epäjatkuvan äänen kanssa tehdyt testit.

**Johtopäätös:** Tämä hypoteesi pitää paikkansa SART testin osalta, mutta päättelytehtävässä ei havaittu eroja kuormituksessa.

$H_3$  = Äänistimuloidut testit koetaan epämiellyttävämpänä, kuin testit ilman ääntä. Kaikkein epämiellyttävimpänä koetaan epäjatkuvan äänen kanssa tehdyt testit.

**Johtopäätös:** Tämä hypoteesi pitää paikkansa ensimmäisen virkkeen osalta. Epäjatkuvan ja jatkuvan äänen välillä ei ollut eroa miellyttävyyden kokemuksessa.

$H_4$  = Äänistimuloidut testit koetaan aktivoivampana, kuin testit ilman ääntä. Kaikkein aktivoivimpana koetaan epäjatkuvan äänen kanssa tehdyt testit.

**Johtopäätös:** Tämä hypoteesi pitää paikkansa osittain. Epäjatkuvan äänen kanssa tehdyt päätelytehtävät koettiin aktivoivammaksi, kuin ilman ääntä tehdyt testit. Jatkuvan äänen kanssa ja ilman ääntä tehtyjen päätelytehtävien välillä viretilan kokemuksessa ei havaittu eroja. SART testissä ei havaittu eroja viretilan kokemuksessa eri testiversioiden välillä.

Tutkimuksen pääkysymyksenä oli:

Voiko äänellä toteutetulla häirinnällä vaikuttaa nuoren sotilaan kognitiiviseen toimintakykyyn?

Tämän tutkimuksen valossa voidaan todeta, että 7000Hz epäjatkuvalta taustaaänellä voidaan lisätä aistiärsykkeiden määrää ja sitä kautta vaikuttaa kognitiiviseen toimintakykyyn. Tutkimuksessa ei havaittu merkittävää kognitiivisen toimintakyvyn laskua suoritettaessa kognitiivisia testejä. Subjektiiivisilla mittareilla tehdyt havainnot osoittavat kuitenkin äänellä olleen vaikutuksia kuormitukseen, miellyttävyyteen ja viretilaan.

## 7. Pohdinta

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten tasaisesti jatkuva ja epäjatkuva korkeataajuinen ääni vaikuttavat nuorten sotilaiden kognitiiviseen toimintakykyyn. Selvitystä varten laadittiin koe-asetelma, jossa 23 koehenkilöä suoritti kognitiiviset testit kolmessa eri ääniympäristössä. Testeistä kerättiin varsinaisten suorituservojen lisäksi henkilöiden subjektiiviset tuntemukset testien aikana. Tulokset analysoitiin Friedmanin kaksisuuntaista varianssianalyysiä käyttäen, jossa eri ääniympäristöissä suoritettujen testien havaintoarvojen keskiarvoja vertaillaan keskenään.

Testitulosten perusteella tutkimuksessa tultiin johtopäätöksiin, että 7000Hz epäjatkuvalla taustäänellä voidaan lisätä aistiärsykkeiden määrää ja sitä kautta vaikuttaa kognitiiviseen toimintakykyyn. Merkittävä tulos havaittiin subjektiivisessa kuormituksen tunteessa suoritettaessa SART testiä eri ääniympäristöissä. Tutkijan hypoteesin mukaisesti epäjatkuva ääni koettiin kaikista eniten kuormitusta lisäävänä tekijänä, kun taas tasaisesti jatkuvaan ääneen koehenkilöt tottuivat, eikä sitä koettu kuormitusta lisäävänä tekijänä. Nämä tulokset viittaavat siihen, että vaikutuksia voisi pienillä koeasetelman muutoksilla saada myös varsinaisiin testituloksiin. Tätä ilmiötä voisi tutkia lisää. Häiritsevän äänen ominaisuuksia voisi muuttaa esimerkiksi vaihtelevataajuiseksi ja äänenpainetasoltaan voimakkaammaksi. Nyt tutkittiin pelkästään kuulolle turvallisia n.60 - 70 dB SPL ääniä. Kovemmillä äänenpainetasoilla toteutettavat testit tulee kuitenkin tarkkaan mitata koehenkilöiden kuulovaurioiden estämiseksi.

On huomioitava, että tässä tutkimusasetelmassa koehenkilöt altistuivat ääniärsykkeelle vain muutaman minuutin ajan kerrallaan. On mahdollista, että pidempikestoisina annoksina vastaavalla äänellä voisi saada merkittäviä tuloksia myös kognitiivisten testien suorituservoihin. Subjektiivisten kuormituksen tulosten myötä tutkija edelleen olettaa, että äänenpainetasoa lisäämällä testin aikana myös testituloksiin tullee vaikutuksia. Viimeistään kipurajalle tultaessa keskittyminen SART testin kaltaiseen sinnikkyyttä vaativaan tehtävään oletettavasti herpaantuu.

Monessa muussakin kognitiivista toimintakykyä mittaavassa tutkimuksessa on todettu subjektiivisten mittareiden liittämisen varsinaisen testin suorituksen lisäksi antaa tarkempaa dataa kognitiosta. Voidaan olettaa, että ulkopuolisia ärsykeitä lisäämällä saadaan ensin tuloksia subjektiivisiin arviointeihin ja vasta tietyn rajan jälkeen kognitiivisten testien suorituservoihin.

Sekä SART testi, että päättelytehtävä ovat kuormittavia testejä. Testeillä haluttiin selvittää nimenomaan äänihäirinnän vaikutuksia testien tulosten välillä. Tutkija tunnisti kaksi erilaista ulkopuolista muuttujaa, jotka vaikuttivat testituloksiin ja jotka tuli ottaa huomioon analyysissä. Nämä olivat keskittymiskyvyn herpaantuminen tehtäessä samaa testiä useamman kerran peräkkäin ja toisaalta oppiminen. Tutkija oletti, että oppimisvaikutus nostaa testien tuloksia toistojen edetessä ja keskittymiskyvyn herpaantuminen taas pyrkii laskemaan tuloksia. Muutaman koe-testin jälkeen tutkija päätyi arvioon, että oppimisella on suurempi vaikutus, kuin keskittymiskyvyn herpaantumisella. Summavaikutus arvioitiin täten tutkimustuloksia nostavaksi. Sekä oppimisen, että keskittymiskyvyn herpaantumisen vaikutukset minimoitiin sekoittamalla suoritettavien testien järjestys eri testihenkilöiden välillä.

SART testissä numeroiden ilmestymistiheys on niin suuri (1 / 1,15s), että keskittyminen ei voi herpaantua hetkeksikään parhaan mahdollisen tuloksen saavuttamiseksi. Koko ajan täytyy olla valmiina. Yksi SART testi kesti 4,3min [38] joka tuntuu yksinkertaista tehtävää tehtäessä pitkältä ajalta. Näitä testejä tehtiin kolme peräkkäin siten, että jokaisen testin välissä vastatattiin subjektiivista kuormittavuutta mittaavaan kyselyyn. On oletettavaa, että tehtäessä samaa testiä kolme kertaa peräkkäin on testien tuloksissa eroavaisuuksia. Voi olla, että testihenkilöt eivät jaksaneet ylläpitää tarkkaavaisuutta kaikkien kolmen testin ajan riittävän tehokkaasti. Voisi pohtia, olisiko järkevää vastaavaa tutkimusasetelmaa käytettäessä pitää pidempiä taukoja eri testiversioiden välillä.

Luvussa kaksi esitellyt kuulovaurioiden riskirajat tuli huomioida tutkimusasetelman suunnittelussa tarkasti. Testin stimulaation, ääniympäristön, tuli olla sellainen, ettei siitä koidu vaaraa testihenkilöiden kuulolle. Toisaalta erot kognitiivisessa suorituskäytössä käytettävien testien osalta ovat usein hyvin pieniä ja vaikutuksen saamisessa tilastollisesti merkittäväksi tulee ärsykkeen olla riittävän suuri. Yksi testaustapahtuma suunniteltiin kestäämään n. 40min ja vaikka kahdessa testissä taustalla ei ole ääntä lainkaan, niin testihenkilöt altistuivat äänelle yhteensä kymmenien minuuttien ajan. Tässä asiassa tutkija ei ottanut riskiä vaan valitsi käytettäväksi äänenpainetasoltaan niin hiljaisen äänen, ettei riskiä kuulon alenemaan päässyt syntymään. Tämä saattoi vaikuttaa siihen, ettei vahvempia vaikutuksia esiintynyt.

Alun perin tutkijalla oli intressinä tutkia infraäänten ja ultraäänten vaikutuksia kognitiiviseen suorituskäytössä. Kyseisten taajuusalueiden osalta tutkimustietoa äänen terveysvaikutuksista on vielä kohtuullisen vähän. Tutkija ei kokenut turvalliseksi toteuttaa testejä infra- tai ultraääntaajuuksilla, joten testissä käytettiin auditiivisita ääntä. Kuten Helsingin korvainstituutin Jukka Ylikoski totesi [5], voi kuulokynnyksen lähellä olevilla äänillä olla kognitiivisia vaikutuksia. Tämä olisi hyvä selvittää jatkotutkimuksilla myös sotatieteellisestä näkökulmasta.

Tutkija arvioi, että vaikka koeasetelma ei antanut tuloksia äänihäirinnän vaikutuksista kognitiiviseen toimintakykyyn, niin subjektiivisten vaikutusten takia aihetta pitää edelleen tutkia.

## LÄHTEET

- [1] YLE, *Yhdysvallat pohtii Kuuban-lähetystönsä sulkemista*, 18.9.2017. [Internet]. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-9837253>. [Viitattu 31.3.2020].
- [2] YLE, *USA:n diplomaatteja vastaan tehty "äänihyökkäys" Kuubassa olikin vain sirkkojen sirinää*, 7.1.2019. [Internet]. Saatavissa: <https://www.ts.fi/uutiset/maailma/4438057/USAn+diplomaatteja+vastaan+tehty+aanih+yokkays+Kuubassa+olikin+vain+sirkkojen+sirinaa>. [Viitattu 31.3.2020].
- [3] R. Allison, *Russian 'deniable' intervention in Ukraine: how and why Russia broke the rules*, International Affairs, vol. 90, nro 6, p. 1255 - 1297, 2014.
- [4] T. Jauhiainen, S. Vuorinen ja M. Guzejev, *Ympäristömelun vaikutukset*, Helsinki: Ympäristöministeriö, 2007, 80 s. ISBN 978-952-11-2563-8.
- [5] T. Lanki, A. Turunen, P. Maijala, M. Heinonen-Guzejev, S. Kännälä, T. Toivo, T. Toivonen, J. Ylikoski and T. Yli-Tuomi, *Tuulivoimaloiden tuottaman äänen vaikutukset terveyteen*, Työ- ja elinkeinoministerion julkaisuja. TEM raportteja, 2017, no. 28, 164 s. ISSN 1797-3562.
- [6] J. Altmann, *Acoustic Weapons - A Prospective Assessment*, Science & Global Security, 2001, no. 9, p. 165-234.
- [7] A. D. Baddeley, *A 3 min reasoning test based on grammatical transformation*, Psychonomic Science, 1968, no. 10, p. 341 - 342, ISSN 00333131.
- [8] A. P. Smith, *THE EFFECTS OF DIFFERENT TYPES OF NOISE ON SEMANTIC PROCESSING AND SYNTACTIC REASONING*, Acta Psychologica, 1985. no. 58, p. 263 - 273, ISSN 0001-6918.
- [9] D. E. Broadbent ja M. Gregory, *Effects of Noise and of Signal Rate upon Vigilance Analysed by Means of Decision Theory*, Sage Journals. Human Factors, 1965. vol. 7, no 2, p. 155 - 162.

- [10] N. A. A. Castelo Branco, M. Alves-Pereira, A. M. Pimenta and J. R. Ferreira, in EuroNoise Maastricht 2015, *Low Frequency Noise-Induced Pathology: Contributions Provided by the Portuguese Wind Turbine Case*, p. 2659 - 2663, ISSN 2226-5147.
- [11] Kansalliskirjasto, OKM ja VVM, ”*FINTO - SUOMALAINEN SANASTO- JA ONTOLOGIAPALVELU*”, [Internet]. Saatavissa: <http://www.yso.fi/onto/yso/p642>. [Haettu 18.2.2020].
- [12] J. Laaksonen, *Äänityön kivijalka*, Helsinki: Riffi-julkaisut, 2006. 414 s. ISBN 951-98245-7-X.
- [13] T. D. Rossing, *Springer Handbook of Acoustics*, New York: Springer Science+Business Media, 2007, 1167 p. ISBN 0-387-30425-0.
- [14] M. Noorpuri, *Microphone Sensors for In-Vehicle Applications*, 2017. [Internet]. Saatavissa: [https://www.researchgate.net/figure/Sound-Waves-Wavelength-Frequency-Relation-4\\_fig16\\_317598111](https://www.researchgate.net/figure/Sound-Waves-Wavelength-Frequency-Relation-4_fig16_317598111). [Haettu 19.02.2020].
- [15] J. Olivera, L. Rocha, V. Rotger ja M. Herrera, *Acoustic pollution in hospital environments*, 2011. Journal of Physics Conference Series.
- [16] S. Väätäinen, *Opas kuulontutkimuksesta sosiaali- ja terveysalan ammattilaisille*, 1 Painos, Helsinki: Edita Prima Oy, 2005, 120s. ISBN 951-37-4282-2.
- [17] Kuuloliitto ry, *Kuulo ja kuulovammat*, [Internet]. Saatavissa: <https://www.kuuloliitto.fi/kuulo/kuulo-ja-kuulovammat>. [Haettu 1.3.2019].
- [18] M. A. Nitsche, L. G. Cohen, E. M. Wassermann, A. Priori, N. Lang, A. Antal, W. Paulus, F. Hummel, P. S. Boggio, F. Fregni and A. Pascual-Leone, *Transcranial direct current stimulation: State of the art 2008*, Brain Stimulation, 2008, no. 1, p. 206 - 223, ISSN 1935861X.
- [19] J. Laarni, V. Kalakoski ja P. Saariluoma, *Ihmisen tiedonkäsittely*, Kirjassa: P. Saariluoma, M. Kamppinen ja A. Hautamäki, Moderni kognitiotiede, Helsinki: Gaudeamus Kirja / Oy Yliopistokustannus, 2001, 270 s. ISBN 951-662-824-9.



- [20] K. Allen and J. Blascovich, *Effects of Music on Cardiovascular Reactivity Among Surgeons*, JAMA: The Journal of the American Medical Association, 1994, no. 272, p. 882 - 884, ISSN 00987484.
- [21] C. Andringa and J. Lanser, *How Pleasant Sounds Promote and Annoying Sounds Impede Health: A Cognitive Approach*, International Journal of Environmental Research and Public Health, 2013, no. 10, p. 1439 - 1461, ISSN 1660-4601.
- [22] P. Saariluoma, *Foundational analysis. Presuppositions in experimental psychology*, London: Routledge, 1997, ISBN 0-415-14585-6.
- [23] D. Broadbent, *Perception and communication*, Oxford: Pergamon Press Ltd. 1958.
- [24] J. Deutsch and D. Deutsch, *Attention: Some theoretical considerations*, Psychological review, 1963, no. 70, p. 80 - 90.
- [25] J. Jonides, *Voluntary versus automatic control over the mind's eye's movement*, Attention and Performance, 1981, no 9, p. 187 - 203.
- [26] H. Müller ja P. Rabbitt, *Reflexive and voluntary orienting of visual attention. Time course of activation and resistance to interruption*, Journal of Experimental Psychology, 1989, no 17, p. 107 - 124.
- [27] M. J. Farah, *Psychophysical evidence for a shared representational medium for visual images and percepts*, Journal of Experimental Psychology: General, 1985, no 114, p. 91 - 103
- [28] M. J. Farah, *Is visual imagery really visual? Overlooked evidence from neuropsychology*, Psychological Review, 1988, no 95, p. 307 - 317,.
- [29] L. Wittgenstein, *Philosophical investigations*, Oxford: Blackwell, 1953.
- [30] J. Perner, *Understanding the representational mind*, Cambridge: MIT Press, 1991.
- [31] J. A. Fodor, *Concepts*, Oxford: Claredon Press, 1998.
- [32] W. Kintsch, *The representation of meaning in memory*, Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum, 1974.

- [33] K. M. Wilson, J. Head, N. R. de Joux and K. M. Finkbeiner, *Friendly Fire and the Sustained Attention to Response Task*, HUMAN FACTORS, 2015, no. 57, p. 1219 - 1234.
- [34] T. Manly, I. H. Robertson, M. Galloway and K. Hawkins, *The absent mind: further investigations of sustained attention to response*, Neuropsychologia, 1999, no. 37, p. 661 - 670, ISSN 0028-3932.
- [35] A. van der Heide, M. K. van Schie, G. J. Lammers, I. Arnulf, Y. Dauvilliers, G. Mayer, C. L. Bassetti, C. L. Ding, P. Lehert and J. G. van Dijk, *Comparing Treatment Effect Measurements in Narcolepsy: The Sustained Attention to Response Task, Epworth Sleepiness Scale and Maintenance of Wakefulness Test*, SLEEP, 2015 vol. 38, no. 7, p. 1051 - 1058, ISSN 0161-8105.
- [36] I. H. Robertson, T. Manly, J. Andrade, B. T. Baddeley and J. Yiend, *"Oops!": Performance correlates of everyday attentional failures in traumatic brain injured and normal subjects*, Neuropsychologia, 1997, vol. 35, no. 6, p. 747 - 758.
- [37] H. Vilkkä, *Tutki ja Mittaa. Määrällisen tutkimuksen perusteet*, 2007, 188 s. ISBN 978-952-03-0099-9,
- [38] J. A. Cheyne, G. J. F. Grayden, J. S. A. Carriere and D. Smilek, *Anatomy of an error: A bidirectional state model of task engagement/disengagement and attention-related errors*, Cognition, 2009, no. 111, p. 98 - 113, ISSN 00100277.
- [39] M. L. Haavisto and L. Oksama, *Kognitiivisen kuormituksen arviointi: esimerkkinä hävittäjälentäjän tehtävä- ja kuormitusanalyysi*, Työ ja ihminen, vol. 21, no. 1, s. 17 - 29, 2007.
- [40] S. G. Hart, in Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 2006, *Nasa-Task Load Index (NASA-TLX); 20 Years Later*, vol. 50, no. 9, p. 904 - 908.
- [41] S. G. Hart and L. E. Staveland, in: P. A. Hancock and N. Meshkati, (eds.) Human Mental Workload, *Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research*, Amsterdam: North Holland Press, 1988.

- [42] J. A. Russell, *A Circumplex Model of Affect*, Journal of Personality and Social Psychology, 1980, vol. 39, no 6, p. 1161 - 1178, ISSN 0022-3514.
- [43] M. Software, *Inquisit Lab - Overview*, [Online]. Available: <https://www.millisecond.com/products/inquisit6/laboverview.aspx>. [Haettu 05.03.2020].
- [44] J. Metsämuuronen, *Tilastollisen päättelyn perusteet*, 2. painos, Helsinki: Sridevi Printers Ltd, 2002 ISBN 952-5372-11-1.
- [44] J. Metsämuuronen, *Pienten aineistojen analyysi. Parametrittomien menetelmien perusteet ihmistieteissä*, Jyväskylä: Gummerus, 2004 ISBN 952-5372-16-2.

# Yliluutnantti Joona Gyldénin Pro Gradu -tutkielman LIITTEET

## LIITTEET

### LIITE 1: NASA-TLX KYSYMYKSET

### LIITE 2: MIELLYTTÄVYYDEN JA VIRETILAN KYSYMYKSET

### LIITE 3: KOEJÄRJESTELYT

## LIITTE 1: NASA-TLX KYSYMYKSET

1: **Henkinen vaatimustaso:** Oliko tehtävä helppo ja yksinkertainen vai vaativa ja monimutkainen? Kuinka paljon tehtävä vaati päätöksentekoa, ajattelua, etsimistä, muistamista, laskemista jne.?

Liukuvalitsin: "Erittäin vähän" - "Erittäin paljon"

2: **Fyysinen vaatimustaso:** Kuinka paljon tehtävä vaati fyysistä toimintaa, esim. kantamista, nappien painamista jne.?

Liukuvalitsin: "Erittäin vähän" - "Erittäin paljon"

3: **Ajallinen vaatimustaso:** Oliko tehtävä hidas-, sopiva- vai nopearytminen? Kuinka paljon aikapainetta tunsit tehtävän aikana?

Liukuvalitsin: "Erittäin vähän" - "Erittäin paljon"

4: **Suoritus:** Kuinka tyytyväinen olet toimintaasi tavoitteiden saavuttamisessa? Kuinka hyvin mielestäsi saavutit tehtävän tavoitteet?

Liukuvalitsin: "Erittäin heikosti" - "Erittäin hyvin"

5: **Ponnistelu:** Kuinka paljon sinun täytyi ponnistella henkisesti ja fyysisesti tehtävän aikana?

Liukuvalitsin: "Erittäin vähän" - "Erittäin paljon"

6: **Turhautuminen:** Olitko rasittunut ja turhautunut tehtävän suorituksen aikana?

Liukuvalitsin: "Erittäin vähän" - "Erittäin paljon"

## LIITE 2: MIELLYTTÄVYYDEN JA VIRETILAN KYSYMYKSET:

1: **Mielipahan VS. Mielihyvän tuntemus.** Olin tehtävän aikana:

Liukuvalitsin: "Äärimmäisen onneton, surullinen ja/tai tyytymätön" - "Äärimmäisen onnellinen, iloinen ja/tai tyytyväinen"

2: **Aktivoitumisen tuntemus.** Olin tehtävän aikana:

Liukuvalitsin: "Äärimmäisen tyyni, unelias ja/tai hiljainen" - "Äärimmäisen energinen, kiihtynyt ja/tai valpas"

## LIITE 3: KOEJÄRJESTELYT

